



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN  
TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA**



**TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**OBTENCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE LA PUERTA  
DE LA LATINA DEL S. XVI d.C. MEDIANTE EQUIPO LÁSER  
ESCÁNER TERRESTRE**

**Madrid, (Diciembre, 2014)**

***Alumnos: Sergio Carazo Almazán  
Enrique Pardo Sánchez***

***Tutor: Mercedes Farjas Abadía***

***Cotutor: Miguel Ángel Alonso Rodríguez***

Universidad Politécnica de Madrid  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía,  
Geodesia y Cartografía

Proyecto Fin de Carrera

Obtención del modelo tridimensional de la puerta de  
La Latina del S. XVI d.C. mediante equipo Láser escáner  
terrestre



**Alumnos:**

Sergio Carazo Almazán  
Enrique Pardo Sánchez

**Tutor:**

Mercedes Farjas Abadía

**Cotutor:**

Miguel Alonso Rodríguez



BIBLIOTECA  
UNIVERSITARI  
CAMPUS SUR

# ÍNDICE

➤ Introducción .....	6
1. Objetivos	
2. Antecedentes	
3. Aplicaciones	
➤ Situación, reseña histórica y descripción .....	17
1. Situación y reseña histórica	
2. Descripción	
➤ Toma de datos .....	22
➤ Equipo láser escáner terrestre .....	27
1. Introducción	
2. Clasificación	
3. Componentes del equipo láser escáner terrestre	
4. Características del equipo láser escáner terrestre	
5. Metodología de trabajo	
6. Ventajas e inconvenientes	
➤ Procesado de datos Riegl LMS-Z420i .....	44
1. Introducción	
2. Tratamiento de datos utilizando RiSCAN-PRO	
3. Resultados obtenidos	
➤ Procesado de datos Z+F IMAGER 5010C .....	60
1. Introducción	
2. Tratamiento de datos utilizando RealWorks	
3. Resultados obtenidos	
➤ Presupuesto .....	74
➤ Conclusiones .....	84
➤ Anexos .....	85

# **INTRODUCCIÓN**

## **1. OBJETIVOS**

El objetivo de este Proyecto Fin de Carrera (PFC) es la obtención de un modelo tridimensional de “La Puerta de la Latina”, ubicada en el aparcamiento delantero de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid. El levantamiento se realiza con el equipo láser escáner terrestre Riegl LMS-Z420i.

Tras la toma de datos se efectuará el tratamiento de la nube de puntos y se obtendrá una “imagen realista” del modelo, entendiendo por “imagen realista” una representación final en la que, partiendo del modelo digital triangulado, se realiza una asignación de texturas a partir de imágenes obtenidas in situ.

Este proyecto pretende ser un ensayo de las posibilidades de esta tecnología en el proceso de la representación tridimensional de edificios de interés arquitectónico e histórico.

## **2. ANTECEDENTES**

En los últimos años la tecnología cartográfica está demostrando un avanzado ritmo de crecimiento, con instrumental y metodologías que permiten un amplio espectro de posibilidades en el uso de levantamientos tridimensionales. Uno de estos nuevos equipos es el láser escáner terrestre.

En arquitectura e ingeniería se están generalizando aplicaciones de estos escáneres. Las posibilidades van desde el levantamiento de fachadas de edificios, el levantamiento de cúpulas, a complejos modelos tridimensionales de estructuras de edificios y puentes. Tradicionalmente el levantamiento de fachadas se ha efectuado mediante técnicas fotogramétricas. En este proyecto se pretende aplicar las técnicas del equipo láser escáner tridimensional en este tipo de levantamientos.

### 3. APLICACIONES

La tecnología de adquisición masiva de datos mediante el empleo del láser escáner tridimensional es, a día de hoy, un mundo en plena expansión. Entre las aplicaciones en las que se puede trabajar con un equipo láser escáner, se plantean en primer lugar las aplicaciones topográficas, ya que son las técnicas con las que estamos más familiarizados. Este sistema de trabajo puede aportar un valor añadido importante en las aplicaciones cotidianas como son los levantamientos topográficos de taludes, presas, túneles, carreteras, viaductos, puentes, edificios, etc. Además existen otras aplicaciones que se extienden a levantamientos en plantas industriales, instalaciones, construcción naval, sistemas de tuberías, plataformas marítimas, preservación histórica (patrimonio), forenses, militar, captura de la realidad, arqueología, etc.

Los equipos láser escáner se aplican también en escenas de crimen, atentados o accidentes, donde permitiendo obtener una documentación topográfica del lugar y de los objetos presentes en el escenario de forma exhaustiva, incluyendo información métrica (tridimensional) y de imágenes (bidimensional). La captura de datos con equipos láser escáner se realiza en un corto espacio de tiempo, lo que facilita la normalización de la circulación en el caso de accidentes, o el inicio de las reparaciones en tiempo récord. Algunas de las aplicaciones y fines para las que se están utilizando estos equipos y su metodología son los siguientes.

#### 3.1. CANTERAS Y MINAS A CIELO ABIERTO

El escaneado tridimensional de canteras y minas a cielo abierto, es un método de gran utilidad para este tipo de trabajos, ya que al obtener una malla de puntos, que es prácticamente un calco de la realidad, se evitan los posibles errores típicos de interpolación por el método de topografía clásica, obteniéndose un cálculo de movimiento de tierras del avance de la carretera o mina prácticamente exacto. Otra de las ventajas de estos métodos es el realizar los trabajos a distancia, obteniendo datos de las zonas inaccesibles (grandes taludes, agujeros,...) en las que la topografía clásica no puede utilizarse.

Por otro lado, como en la toma de datos con el equipo láser escáner se obtiene una nube de puntos en tres dimensiones y la proyección sobre los mismos de color verdadero, se pueden llegar a identificar las diferentes betas y en distintos materiales existentes.





*Imagen 1.1- Imagen de la nube de puntos de una mina a cielo abierto*

### **3.2. RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO**

Al crear reconstrucciones de accidentes, cuanto más pronto y rápido se pueda registrar la escena, mejor. Con un equipo láser escáner, los investigadores de colisiones pueden registrar rápidamente enormes cantidades de datos y llevar la reconstrucción de la escena virtual en la oficina. Las líneas de visión, por ejemplo, se pueden analizar desde varios puntos de vista privilegiados o los datos de escaneado se pueden comparar con los archivos CAD para analizar la deformación de los vehículos. Con todo ello es posible realizar una animación de un accidente para simular el suceso real.



*Imagen 1.2 -Reconstrucción de un accidente de tráfico*

### 3.3. ACCIDENTES, RIESGOS INDUSTRIALES

El caso de la explosión de varios componentes de una máquina de papel demostró la eficacia de los equipos láser escáner para encontrar las causas de accidentes.



*Imagen 1.3 -Escaneado de los pedazos de rodillos de secado*

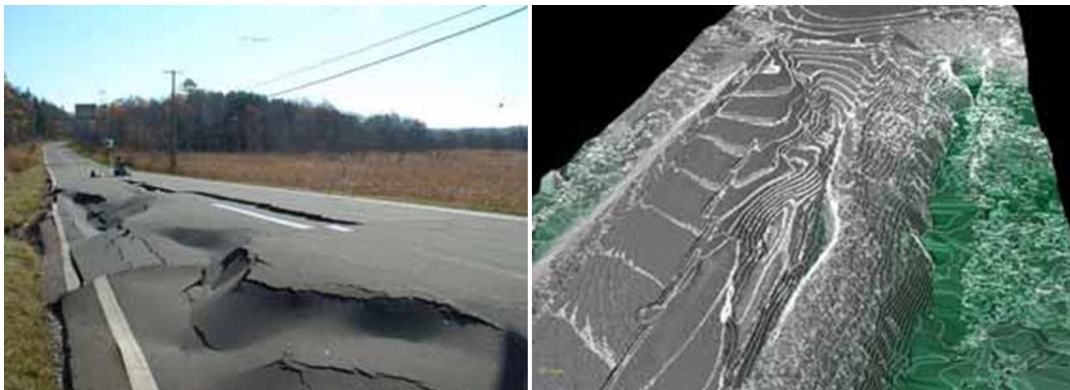
Los pedazos de los dos rodillos de secado, se escanearon uno por uno (Imagen 1.3). Un trabajo de reconstrucción virtual de las piezas permitió confirmar a los expertos que la explosión fue provocada por el desplome de una viga metálica de la estructura de soporte. En este caso, en particular, las conclusiones del estudio de los datos del equipo láser escáner se confirmaron por completo a través de un estudio tradicional de las piezas. Sin embargo, mientras que el estudio con los datos del equipo láser escáner necesitó únicamente varias horas de trabajo en el lugar del accidente, el estudio tradicional requirió el envío de las piezas en un contenedor por barco a Estados Unidos, y el informe fue entregado varios meses después del accidente.

El estudio de los cráteres provocados por una explosión industrial también demostró las aplicaciones posibles de un equipo láser escáner. Las maquetas virtuales y los modelos de simulación pueden proporcionar resultados precisos del impacto ambiental en caso de accidentes.



### 3.4. TEMBLORES Y TERREMOTOS

En Hokkaido, Japón, en Septiembre 2003, un temblor de magnitud 8,3 en la escala Richter provocó importantes daños materiales. Con el fin de restablecer lo más rápido posible las infraestructuras ferroviarias y de carreteras, el escaneado láser tridimensional se impuso como la herramienta de análisis rápida y eficaz. Los resultados obtenidos permitieron al mismo tiempo preparar las reparaciones necesarias con los programas informáticos actuales, y, ajustar los resultados de las simulaciones teóricas al compararlos con los resultados reales levantados en campo (Imagen 1.4).

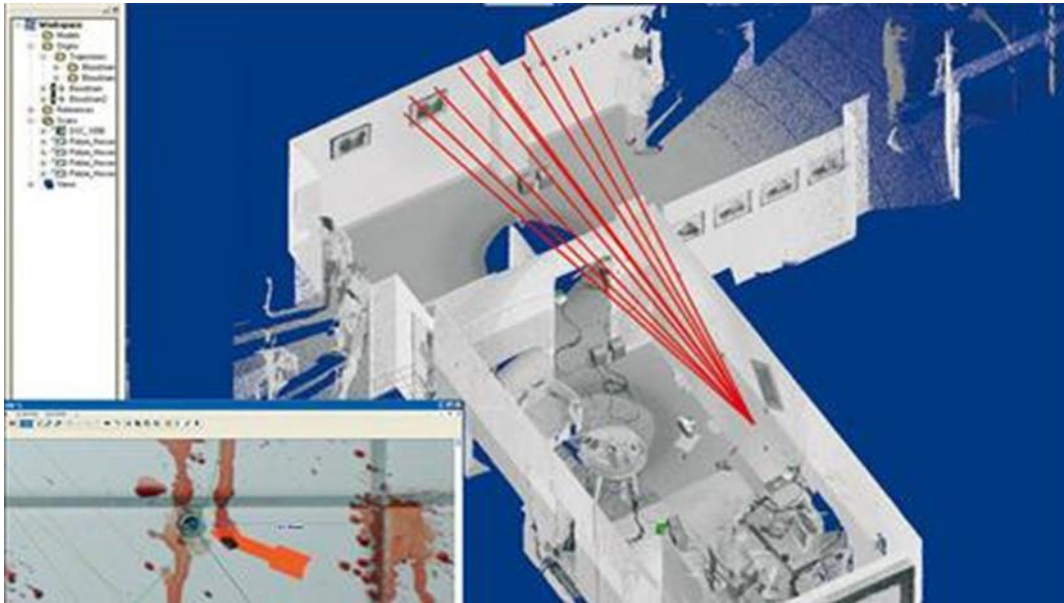


*Imagen 1.4 -Levantamiento láser de una carretera después de un temblor*

### 3.5. ESCENAS DE CRIMEN

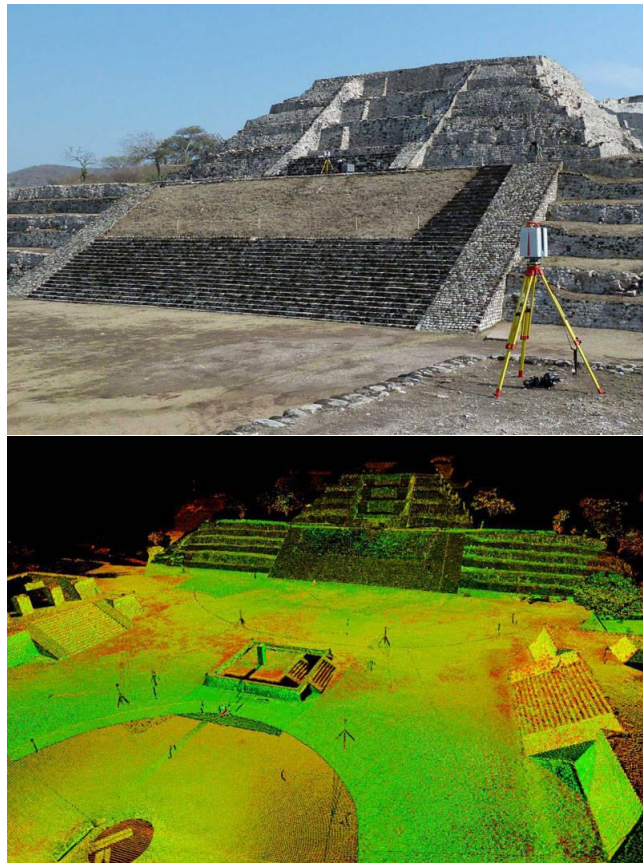
En el levantamiento completo de una escena de crimen (Imagen 1.5) el equipo láser escáner aporta un registro numérico prácticamente exhaustivo de los hechos en un instante preciso, que puede servir para confirmar o desechar las diferentes hipótesis emitidas por los investigadores.

La demostración de la culpabilidad o la inocencia de los sospechosos en los tribunales se pueden facilitar a través de estos estudios tridimensionales. En caso de litigio, los datos recuperados con láser escáner tridimensional pueden aportar elementos adicionales para la comprensión de los hechos. Universidades como la Universidad de Hannover, Alemania, utilizan sistemas de escaneado láser tridimensional para efectuar los levantamientos topográficos de accidentes de automóvil, para, posteriormente, analizar las causas del mismo.

*Imagen 1.5 -Escena de un crimen*

### 3.6. PATRIMONIO

Los sistemas de documentación de bienes históricos han avanzado al compás de las tecnologías disponibles en cada momento. La necesidad de conseguir un procedimiento que proporcione datos precisos de una manera eficaz y productiva ha forzado a seguir de manera muy próxima los avances técnicos disponibles en cada momento. El trabajo de dibujantes expertos se complementó en una primera fase con la fotografía química y con la fotogrametría. Hoy en día, esta nueva tecnología aporta numerosos beneficios a los procesos de documentación de los sistemas tridimensionales basados en láser escáner.

*Imagen 1.6 -Observatorio de Xochicalco*

La elevada densidad de información que podemos capturar con estos sistemas, y la gran precisión de las medidas individuales, hacen posible detectar pequeños cambios en la forma de grandes elementos, como el abombamiento del sustrato de un fresco en una cúpula, o el pandeo de una fachada.

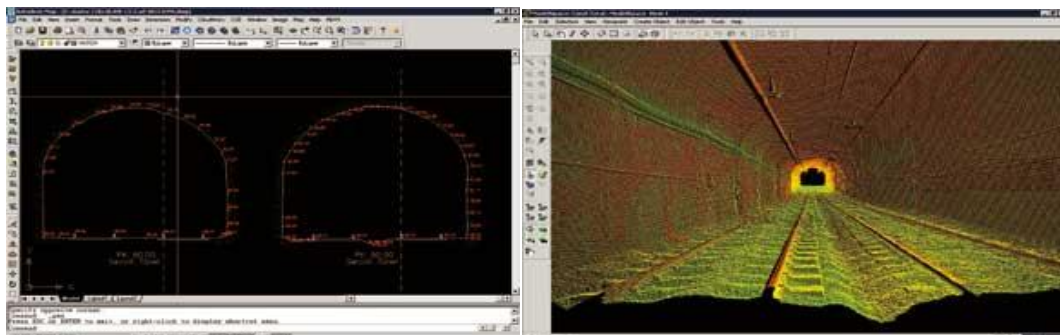
Los sistemas de medición tridimensional suponen un complemento eficaz en las operaciones de documentación de los bienes patrimoniales, especialmente por la flexibilidad y rendimiento que proporcionan. La capacidad de obtener información permite acortar los plazos de los proyectos, así como aumentar la calidad de los mismos. Características como la medición sin contacto y a distancia, y la nula alteración del objeto analizado hacen que en determinadas ocasiones estos sistemas sean la única alternativa viable.

Un ejemplo de este tipo de aplicaciones lo encontramos en el levantamiento del observatorio de Xochicalco (Imagen 1.6), yacimiento arqueológico que se ubica en el municipio de Miacatlan en el estado de Morelos, México; a 38 km al sudoeste de la ciudad de Cuernavaca.

### **3.7. TÚNELES**

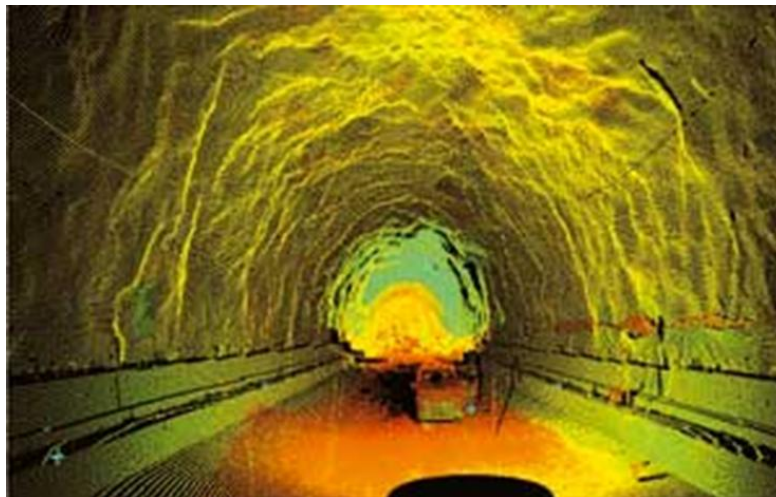
La tecnología láser escáner ofrece ventajas masivas durante la construcción y el mantenimiento de túneles. La documentación para el trabajo subterráneo se puede acelerar de manera sustancial. Las superficies del túnel se pueden medir directamente después de la perforación o directamente detrás del protector de la máquina perforadora.

Un ejemplo en el levantamiento de túneles, lo aporta la empresa de servicios topográficos TOYSER de Barcelona, que se encarga de gran parte de los trabajos de topografía en el Metro de la ciudad (Imagen 1.7). Esta empresa considera una ventaja la captura de datos masiva que el sistema láser escáner tridimensional le proporciona, para la posterior extracción de los perfiles transversales. En un túnel de Metro la toma de detalle es importantísima debido a la cantidad de servicios que existen en el proyecto.



*Imagen 1.7 -Perfiles y nube de puntos obtenida*

Otro ejemplo es el de la empresa de Toledo ACRE, que está utilizando el sistema láser escáner en los túneles más emblemáticos de nuestro país. El ejemplo que se muestra es una nube completa de 2500 m del túnel Bregua en Galicia (Imagen 1.8) en la que se tuvo un avance en el levantamiento de 600 m/día más un día para la unión de escaneados con generación de las secciones del mismo.



*Imagen 1.8 -Nube de puntos del túnel de Bregua, Galicia*



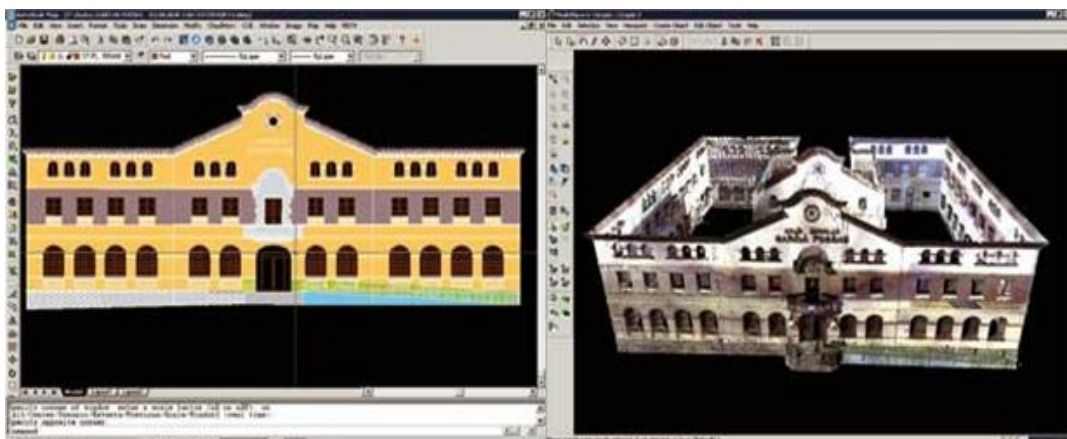
### 3.8. LEVANTAMIENTO DE FACHADAS

Un ejemplo de levantamiento de una fachada es el realizado por la empresa ACRE, en la fachada principal de la Biblioteca Nacional en Madrid (Imagen 1.9). El flujo de trabajo fue la obtención de tres escaneados y su unión sin necesidad de instalar dianas en la fachada, con puntos en las zonas comunes de los diferentes escaneados. Posteriormente se realizó el dibujo tridimensional directamente en AutoCad. En dos horas de campo y cuatro días de oficina se generó una entrega al cliente por encima de lo que se hubiera conseguido con un método tradicional.



*Imagen 1.9 -Fachada principal de la Biblioteca Nacional de Madrid*

Otro ejemplo es el realizado por la empresa TOYSER, un el levantamiento y delineación de doce fachadas del colegio García Fossas en Igualada, Barcelona (Imagen 1.10). El rendimiento obtenido en este caso fue de tres días de campo y cinco días de trabajo de delineación realizando la entrega de doce alzados en dos dimensiones correspondientes a cada una de las fachadas.



*Imagen 1.10 - Fachadas del colegio García Fossas, Igualada, Barcelona*

### 3.9. ANIMACIÓN TRIDIMENSIONAL

Existen una gran cantidad de películas, cuyos efectos especiales se han realizado con equipos láser escáner tridimensional. Algunos ejemplos son: *Deep Blue Sea* (Imagen 1.11), *Minority Report*, *Matrix I y II*, *Master & Comander*, *El Señor de los Anillos*, *Harry Potter*, *Moulin Rouge*, etc.



Imagen 1.11 - Imágenes de la película “Deep Blue Sea”

Además esta aplicación se extiende a los diferentes programas de entretenimiento y realidad virtual.



# **SITUACIÓN, RESEÑA HISTÓRICA Y DESCRIPCIÓN**

## 1. SITUACIÓN Y RESEÑA HISTÓRICA

El monumento en cuestión, la Puerta de la Latina (Imagen 2.1), tiene su origen junto al del Hospital de la Concepción de Nuestra Señora que fue más conocido como Hospital de la Latina debido al apodo de su cofundadora, Beatriz Galindo de Vera (La Latina). El proyecto lo inició su marido, Francisco Ramírez, y ella se responsabilizó al fallecer éste en 1501. La construcción comprendía dicho Hospital e incluía un Monasterio anexo al Hospital. El arquitecto encargado de diseñar y construir dicho proyecto fue el maestro mozárabe Hazán. El Hospital se terminó de construir en 1507, mientras que el Monasterio se acabó en 1512.



*Imagen 2.1 - Estado actual de la Puerta de la Latina*

Tras casi cuatro siglos de existencia el Hospital se encontraba en estado ruinoso y fue derruido junto al Monasterio en 1904 para poder ensanchar la calle Toledo. Gracias a la mediación de las Reales Academias de la Historia y de Bellas Artes se respetaron la Portada, la escalera (Imagen 2.2) y los sepulcros del matrimonio fundador (Imagen 2.3). La escalera, de dos tramos, se reconstruyó en la Casa de Don Álvaro de Luján, actual sede de la Real Academia de Ciencias Morales y Políticas en la Plaza de la Villa. Los sepulcros del matrimonio se conservan en el Museo de la Historia.



*Imagen 2.2 - Escalera del Hospital colocada en la Real Academia de Ciencias Morales y Políticas*



*Imagen 2.3 - Sepulcros de Francisco Ramirez, el “Artillero”; y Beatriz Galindo de Vera, la “Latina”*

La Puerta de la Latina se llevó a uno de los almacenes municipales de la Villa donde quedó olvidada hasta que, medio siglo después, un estudiante de arquitectura llamado Rafael Manzano Martos se interesó por los restos y encontró las piedras en el almacén de la calle Santa Engracia; tras comprobar que era viable su recuperación y con laboriosas maniobras finalmente lo consiguió. La Portada fue situada en el Museo Nacional de Arquitectura, cuya sede se encontraba en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Ciudad Universitaria de Madrid; allí se asentó en el exterior, en la entrada de dicha Escuela, donde ahora podemos encontrarla decorando un aparcamiento.

El proyecto de recuperación de la Puerta de la Latina originalmente consistía en incorporarla a la fachada del edificio de la Escuela, pero la cesión de los restos por parte del ayuntamiento estaba condicionada a su colocación exenta. La obra de recuperación la llevó a cabo Fernando Chueca; éste, para darle cuerpo, añadió una fachada posterior postiza y un tejado. Posteriormente, ya en 1984, la Puerta de la Latina fue declarada Monumento Histórico Nacional (actualmente equivalente a Bien de Interés Cultural, BIC).

Más recientemente, ya en el siglo XXI, podemos señalar que hace unos diez años un particular solicitó el traslado de la Portada al entorno de la Plaza de la Cebada donde estuvo originalmente. La Universidad desestimó la solicitud alegando que los restos pertenecían a los fondos del Museo Nacional de Arquitectura y que no parecía viable el traslado a un ámbito que ya no es, ni podría ser, el suyo. También, oficialmente, los políticos registraron en el B. O. de la Asamblea de Madrid / Nº 24 (1 de Abril de 2004) *“realizada visita de inspección a la misma, se ha constatado que se encuentra en buenas condiciones de conservación, no considerándose prioritaria ninguna intervención en la misma”*.

## 2. DESCRIPCIÓN

Esta Puerta, la principal del hospital, es de estilo gótico-mudéjar (plateresco) realizada en piedra caliza. El arco de la portada es de herradura apuntado formado por dovelas de gran tamaño y decoración vegetal y de bolas en su intradós (Imagen 2.4). También forman parte de la decoración los blasones de los Ramírez y los Galindo, por encima de los cuales encontramos las esculturas de un monje y un salvaje, y en la parte central, por encima del arco y bajo una ventana enrejada, observamos otra escultura que representa la Visitación (Imagen 2.5). Estas tres esculturas descansan sobre ménsulas y están protegidas por doseletes, ambos ornamentados. El intradós del alfiz está decorado por rosas y enmarcado por el cordón franciscano.



*Imagen 2.4 - Detalle de la ornamentación del arco*

Por último destaca la inscripción bajo la escultura central y en la que podemos leer:

*“ESTE HOSPITAL ES DE LA CONCEPCIÓN DE LA MADRE DE DIOS QUE FUNDARON FRANCISCO RAMÍREZ Y BEATRIZ GALINDO SU MUJER. AÑO 1507”.*





*Imagen 2.5 - Detalle de la ornamentación de la Latina*

# **TOMA DE DATOS**



## TOMA DE DATOS

El monumento, la Puerta de la Latina, se encuentra situado en el aparcamiento delantero de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, la cual podemos encontrar en Ciudad Universitaria avenida Juan de Herrera 4 de Madrid.

Para realizar este proyecto, debido a su desarrollo, se hicieron tres tomas de datos independientes (en tres días distintos). La distribución de los instrumentos empleados en los distintos días la podemos observar en el esquema siguiente (Imagen 3.1).



*Imagen 3.1 (Esquema de la distribución de las distintas observaciones)*

La primera toma de datos, escaneos mediante el equipo láser escáner Riegl LMS-Z420i (Imagen 3.2), se llevó a cabo el día 30 de Noviembre del año 2013.

De las características del primer día de observación cabe destacar la baja temperatura que había (el software utilizado para la toma de datos avisó de ello antes de realizar el

escaneado), en torno a los cero grados Celsius. Para la observación realizada se llevaron a cabo dos estacionamientos, uno desde cada lateral de la Puerta. En el primer estacionamiento se capturó un escaneado general de trescientos sesenta grados sexagesimales y un escaneado de detalle de la zona donde se encuentra la Puerta; mientras que en el segundo estacionamiento, además del escaneado general del escenario y el de detalle de la zona de la Puerta, se efectuó otro adicional con mayor detalle de la parte central en la que se encuentran dos figuras enfrentadas talladas en piedra.

Para esta primera observación se utilizó el equipo láser escáner Riegl LMS-Z420i, que colocamos sobre un trípode de aluminio con patas telescópicas unidas y fijadas en sus extremos por medio de una estrella de hierro para evitar que, por el peso del aparato, las patas se aprieran. Para controlar el trabajo de captura con el equipo láser escáner se empleó un ordenador portátil dotado con el software RiSCAN PRO, que permite configurar las características de la observación además de los datos de la observación. El equipo láser escáner tiene acoplada y calibrada una cámara, NIKON D70/D100, que permite hacer fotografías de los objetos observados situados en el sistema de referencia arbitrario del aparato. Además de esta cámara también utilizamos otra cámara, NIKON CoolPix P520, para realizar fotografías del monumento, de los estacionamientos y del material empleado en campo.

La segunda toma de datos, observación de puntos situados en la Puerta mediante una estación total, se realizó el día 26 de Febrero del año 2014. La observación se llevó a cabo desde un punto del que se obtuvieron coordenadas a través de las coordenadas de las esquinas de la Puerta. Se observaron un total de 41 puntos.



*Imagen 3.2 - Equipo láser escáner  
Riegl LMS-Z420i*

Para esta observación se empleó una estación total Leica TCR 405 power sustentada con un trípode de patas telescópicas de madera (Imagen 3.3). La altura de la estación y la distancia de referencias al punto de estación se midió con un flexómetro. La obtención de las coordenadas de las esquinas de la Puerta se hizo con un GPS de mano.



*Imagen 3.3 - Estación total Leica TCR 405 power*

El último día para la toma de datos, escaneados mediante el equipo láser escáner Z+F IMAGER 5010 (Imagen 3.4), fue el día 14 de Marzo del año 2014. Para estas capturas, además del equipo láser escáner ya citado, se emplearon unas señalizaciones o dianas

(Imagen 3.4) con las cuales podemos orientar y enlazar las distintas capturas realizadas en cada uno de los estacionamientos.

Para la colocación de estas dianas por los alrededores de la Puerta se utilizaron unos pequeños trípodes de aluminio y cinta adhesiva.



*Imagen 3.4 - Equipo láser escáner Z+F IMAGER 5010; en la fotografía de la derecha podemos observar un target*

Para esta toma de datos se realizaron ocho estacionamientos, obteniendo así capturas de la parte posterior de la Puerta y de la parte interior.

# **EQUIPO LÁSER ESCÁNER TERRESTRE**

## 1. INTRODUCCIÓN

La palabra láser es un acrónimo formado por las iniciales de su nombre en inglés: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, es decir, amplificación de luz por emisión estimulada de radiación.

El láser escáner terrestre es un instrumento de medida que puede producir muchos cambios en el planteamiento, desarrollo y ejecución de levantamientos y controles de calidad en tres dimensiones. Se basa en el barrido de la zona a estudiar mediante un haz de luz láser. Los datos obtenidos son las coordenadas tridimensionales (X, Y, Z) de un conjunto de puntos en un sistema de referencia instrumental.

Este equipo proporciona nubes de puntos tridimensionales, que se pueden utilizar en innumerables aplicaciones: la representación gráfica de un terreno montañoso, el levantamiento de una fachada arquitectónica, proyectos de construcción, seguimiento de trabajos en base a proyectos o prototipos definidos, controles de calidad, modelizaciones de piezas industriales, arquitectónicas y arqueológicas, etc.

## 2. CLASIFICACIÓN

El equipo láser escáner puede clasificarse según el sistema de medida, el sistema de barrido o el alcance.

### 2.1. SEGÚN EL SISTEMA DE MEDIDA

- Tiempo de vuelo o “*time of flight*”. Sus mediciones se consiguen a partir del retardo sufrido por un pulso de luz láser desde su emisión hasta su recepción, y con ello se determina la distancia entre el punto de emisión y el punto en cuestión. El haz de luz recorrerá la zona de trabajo previamente señalada, obteniendo así una medición para cada punto teórico de la malla prevista. Este sistema está recomendado para medir a medias y largas distancias; y en el exterior.

- Diferencia de fase o “*phase shift*”. En este sistema de medida, la distancia entre el láser escáner y el punto medido se calcula a partir de la diferencia de fase detectada entre la onda emitida y la recibida. Este tipo de sistema es recomendable para distancias medias.



· Triangulación óptica. Este sistema determina la posición de cada punto medido basándose en el principio de triangulación láser, esto es mediante observaciones desde los extremos de una base, conocidos los valores de los ángulos extremos. Es el sistema de medida más recomendable para medidas de corto alcance con requisitos de alta precisión (Imagen 4.1).

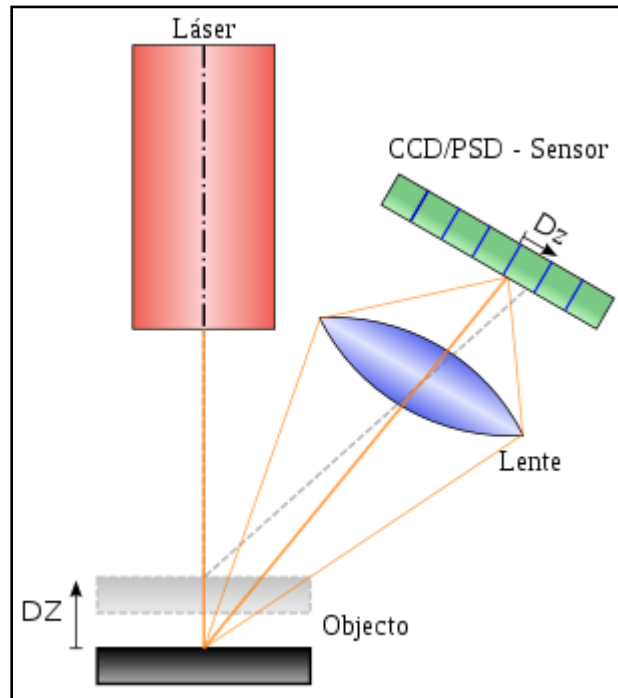


Imagen 4.1 - Principio de un sensor láser de triangulación. Posición de los objetos

## 2.2. SEGÚN EL SISTEMA DE BARRIDO

· Cámara. El haz responsable del barrido es dirigido por dos espejos sincronizados (movimiento vertical y horizontal). La limitación se encuentra en el tamaño de la ventana de barrido, que puede ser de un máximo de 60° por 60° (Imagen 4.2).



Imagen 4.2 - Láser escáner de cámara Cyrax 2500

· Panorámico. El haz láser es capaz de girar alrededor de dos ejes (vertical y horizontal) de manera similar a un teodolito. Para cada posición se realiza un barrido vertical completo, de esta forma se puede proporcionar un barrido de  $360^\circ$  por  $310^\circ$ . La única zona sin barrer es la delimitada por la base del propio instrumento. Se usan, principalmente, en temas de restauración y en objetos que necesiten de tomas verticales (Imagen 4.3).



Imagen 4.3 - Láser escáner panorámico Z+F IMAGER 5006

· Híbrido. El eje del movimiento de barrido actúa del mismo modo que el panorámico, mientras que el movimiento vertical lo hace de forma similar al de cámara. Se trata de un sistema híbrido entre los dos anteriores, proporcionando una zona de barrido de  $360^\circ$  por  $60^\circ$  (Imagen 4.4).



Imagen 4.4 - Barrido híbrido

## 2.3. SEGÚN EL ALCANCE

· Distancias cortas. Basados en triangulación óptica, son los óptimos para medida de corto alcance y alta precisión; como por ejemplo, mediciones industriales. Utilizados sobre todo en objetos cercanos, en principio presentan menos dificultad a la hora de la toma de datos. Este método se usa, mayormente, en temas de restauración, estatuas, estudios de accidentes de tráfico, topografía industrial (tuberías, maquinaria de obras,...).

· Distancias medias. Basados en la diferencia de fase o tiempo de vuelo se pueden utilizar en aplicaciones interiores y exteriores en distancias medias hasta unos cien o doscientos metros con precisiones subcentimétricas.

· Distancias largas. Basados en tiempo de vuelo serán los adecuados para detalles a larga distancia, que requieran una alta resolución espacial y que, sobre todo, se realicen en exteriores. Son los únicos que pueden llegar a distancias de más de mil metros. La precisión es más baja que en los anteriores, debido, sobre todo, a las distancias recorridas por la señal. Son usados en cálculos de volúmenes de desmonte/terraplén, control de obra civil, restauración de fachadas, etc. Permiten capturar en campo un gran volumen de datos en poco tiempo. El problema se encuentra principalmente en el tratamiento posterior de esa nube de puntos.

A continuación se muestra una tabla con las características de los láseres escáner según el sistema de medida y los principales fabricantes:

Fabricantes	Sistema de medida	Máx. Distancia	Precisión (mm)
Callidus, Leica, Mensi, Optech, Riegl, Trimble	Tiempo de vuelo	< 200 m	< 10
Optech, Riegl	Tiempo de vuelo	< 3000 m	< 20
IQSun (Faro), Leica, Zoller+Fröhlich	Diferencia de fase	< 200 m	< 10
Mensi, Minolta	Triangulación óptica	$0,02 < d < 5 \text{ m}$	< 1

## 3. COMPONENTES DEL LÁSER ESCÁNER TERRESTRE

### 3.1. SISTEMA DE CAPTURA DE DATOS

Se basa en un haz de luz láser combinado con un sistema de desviación de éste que permite capturar todos los puntos del área a barrer. Los datos obtenidos son las coordenadas tridimensionales de cada punto.

### 3.2. CÁMARA FOTOGRÁFICA

En algunos casos la cámara está integrada en el equipo, mientras que en otros casos es complementaria. Las imágenes capturadas del área barrida suelen utilizarse para facilitar posteriormente las tareas de identificación de puntos. Con éstas imágenes también se pueden dar texturas a los modelos y crear ortoimágenes.

### 3.3. PROGRAMAS INFORMÁTICOS

Debido a la gran cantidad de datos tratados, se debe utilizar algún programa especial de edición. Estos programas se usan básicamente para extraer y modelar superficies a partir de la nube de puntos, así como para referenciar en un mismo sistema de coordenadas las nubes obtenidas en distintos estacionamientos.

### 3.4. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO ESPACIAL (Opcional)

Generalmente incorporan un receptor GPS, aunque puede quedar abierto a otros sistemas.

## 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS LÁSER ESCANER

### 4.1. RIEGL LMS-Z420i

El sistema Riegl LMS-Z420i, utilizado en este proyecto, comprende un láser 3D de largo alcance y una cámara digital de alta resolución (Imagen 4.5).



Imagen 4.5 - Láser escáner Riegl LMS-Z420i

Sus características principales son:

- Escáner 463 x 210 mm (14,5 kg)
- Cámara Canon EOS 20D (20 mm)
- Batería 12 – 28 V DC, aprox. 5,6 A – 15 V DC
- Rango 3 – 800 m (recomendado 5 – 400 m)
- Captura 360° x 80°
- Precisión 0,004° máx.

Utiliza una longitud de onda correspondiente al espectro no visible del infrarrojo cercano de 1500 nm.

Dispone de una precisión en distancia de  $\pm 1$  cm para un valor de  $1 \sigma$  en distancias comprendidas entre 2 m y 800 m y una precisión angular de  $\pm 7.5'' - 9''$  (vertical y horizontal, respectivamente). El alcance límite es de 1000 m, siendo la distancia recomendada de 350 m.

Este equipo láser escáner tridimensional emplea el sistema de medición por tiempo de vuelo. El equipo de pulso láser (tiempo de vuelo) es la mejor elección para estructuras de gran tamaño por su precisión métrica en distancias largas. Desde un punto de vista operativo, usa el mismo principio que el RADAR. El escáner transmite una luz hacia un objeto, la luz transmitida interactúa con éste y es modificada por el objeto. Parte de esta luz es reflejada de regreso al instrumento donde se analiza. El cambio en las propiedades de la luz permite determinar la reflectancia del objeto. El tiempo en que la luz viaja al objeto y regresa permite determinar la distancia del objeto.

Otras características del equipo láser escáner Riegl LMS-Z420i son las siguientes:

<b>Line Scan (exploración rápida de dirección)</b>	
Mecanismo de escaneo	Espejo rotatorio / oscilante
Número de facetas de espejo	3
Rango del ángulo	Hasta 80°
Movimiento angular	Lineal
Velocidad de Scan	1 Scan hasta máximo 20 lecturas / s
Ancho mínimo del ángulo de paso	0,004°
Resolución del ángulo de lectura	0,002°

<b>Frame Scan (dirección lenta de barrido)</b>	
Mecanismo de escaneo	Cabeza óptica rotatoria
Rango del ángulo	Desde 0° hasta máximo 360°
Movimiento angular	Lineal
Velocidad de Scan	Hasta máximo 15° / s
Ancho mínimo del ángulo de paso	0,004°
Resolución del ángulo de lectura	0,0025°

<b>Método de distancia</b>	
Principio de medición	Un solo disparo de medición en el momento del vuelo
<b>Rango de medición (haz sin lente de aumento)</b>	
Para los objetivos naturales, 80%	Hasta 1000 metros
Para los objetivos naturales, 10%	Hasta 350 metros
Rango mínimo	2 metros
<b>Precisión en la dirección</b>	
Desviación estándar ( $\sigma$ )	$\pm 10$ mm
Resolución de medida	5 mm
Modos de detección de tarjetas	Primera o última tarjeta
Repetición del pulso láser PRR	24000 Hz
Longitud de onda del láser	Infrarrojo cercano
<b>Divergencia del haz del láser</b>	
Ángulo completo, valor $1/e^2$	0,30 mrad haz sin lente de aumento
	3,0 mrad haz con lente de aumento



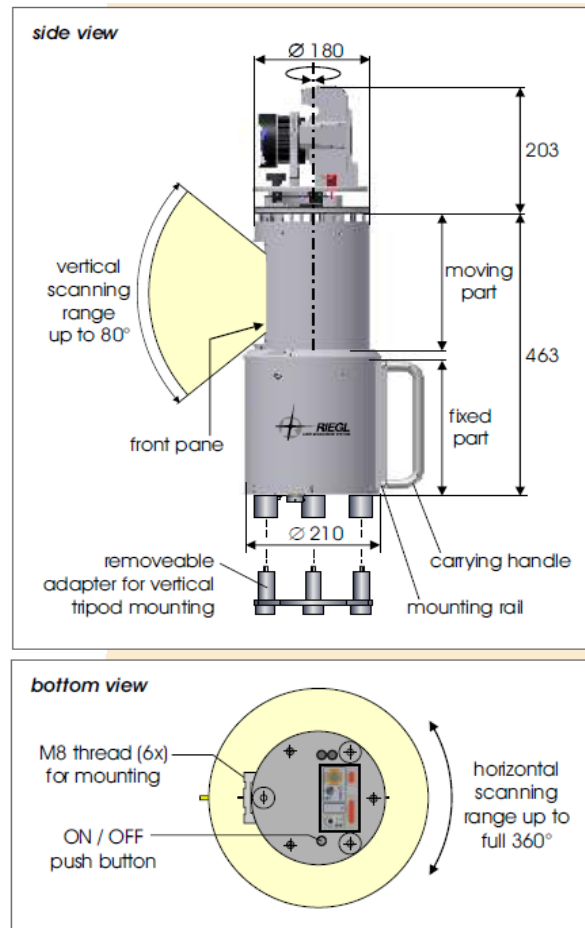


Imagen 4.6 - Esquemas del lateral y la base del láser escáner Riegl LMS-Z420i

#### 4.2. Z+F IMAGER 5010C

Este es el segundo equipo láser escáner que hemos utilizado en el proyecto. Mide por diferencia de fase, a diferencia del equipo de la casa Riegl que mide por tiempo de vuelo.



Imagen 4.7 - Equipo láser escáner Z+F IMAGER 5010

Las características del equipo láser Z+F IMAGER 5010 son las siguientes:

Sistema láser	Imagen y Escaneado (imager & profiler)		
Clase de láser	1		
Divergencia del haz	< 0,3 mrad (ángulo completo)		
Alcance	187,3 m (intervalo de singularidad)		
Distancia de medición mínima	0,3 m		
Intervalo de medición	1.016.000 píxeles / s Max		
Error de linealidad	1 mm		
Distancia de ruido	Negro 14%	Gris 37%	Blanco 80%
Distancia de ruido, 10 m	0,5 mm rms	0,4 mm rms	0,3 mm rms
Distancia de ruido, 25 m	1,0 mm rms	0,6 mm rms	0,5 mm rms
Distancia de ruido, 50 m	2,7 mm rms	1,2 mm rms	0,8 mm rms
Distancia de ruido, 100 m	10 mm rms	3,8 mm rms	2,0 mm rms
Reverberación	Inapreciable		

Deflector	Imagen	Escaneado
Sistema vertical	Espejo giratorio completamente cerrado	
Sistema horizontal	El dispositivo gira alrededor del eje vertical	
Campo de visión vertical	320°	320°
Campo de visión horizontal	360°	---
Resolución de lectura vertical	0,0004°	0,0016°
Resolución de lectura horizontal	0,0002°	---
Precisión vertical	0,007° rms	0,007° rms
Precisión horizontal	0,007° rms	---
Velocidad de rotación	50 U / s (3000 U / min) Max	100 U / s (6000 U / min) Max

Deflector	Imagen	Imagen y Escaneado				Escaneado
Resolución angular	Píxel / 360° horizontal y vertical	Tiempo de ciclo				Píxel / 360° Vertical
		Calidad baja	Calidad normal	Calidad alta	Calidad muy alta	
Preview	1.250	---	0:26 min	---	---	1.280
Low	2.500	0:26 min	0:52 min	1:44 min	---	2.560
Middle	5.000	0:52 min	1:44 min	3:22 min	6:44 min	5.120
High	10.000	1:44 min	3:22 min	6:44 min	13:28 min	10.240
Super high	20.000	3:28 min	6:44 min	13:28 min	26:56 min	20.480
Ultra high	40.000	---	13:28 min	26:56 min	53:20 min	40.960
Extremely high	100.000	---	81:00 min	162:00 min	---	---

General	Imagen
Doble eje	Resolución: 0,001° ; Rango de medición: $\pm 0,5^\circ$ , Precisión: $< 0,007^\circ$ ; Seleccionable On / Off
Láser	Clase de láser: 2 ; Exactitud: 0,5 mm / 1 m ; Láser Diámetro del punto: $< 1,5$ mm a 1,5 m
Indicador de nivelación	Nivel electrónico en la pantalla y LRC
Comunicación	Ethernet / W-LAN
Almacenamiento de datos	64 Gb internos y 2 x USB de 32 Gb externos
Transmisión de datos	Ethernet o USB 2.0
Panel de control integrado	Operación de la pantalla táctil, pantalla a color de datos láser en 3D y las imágenes de color con la medición y funciones de navegación
Conectores interface	2 x USB LEMO LEMO 9 pines y 7 pines para M-Cam y sensores externos, como el GPS, odómetro, etc...

Condiciones ambientales	Imagen y Escaneado
Temperatura de funcionamiento	-10°C --- +45°C
Temperatura de almacenamiento	-20°C --- +50°C
Las condiciones de iluminación	Se pueden utilizar en todas las condiciones de iluminación, incluyendo la luz del sol y la oscuridad completa
Humedad	Sin condensación
Tipo de Protección	IP 53
Dimensiones y Peso	170 x 286 x 395 mm y 11,5 Kg aprox.

## 5. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

El levantamiento con láser escáner convierte el entorno que se captura en coordenadas espaciales. Lo que permite, en un entorno digital, visualizar cualquier vista o sección que se necesite, ya sea ortogonal o en perspectiva del modelo 3D.

Las fases de un proyecto con láser escáner las podemos dividir en:

- Adquisición de datos.
- Tratamiento y procesamiento de la información.
- Explotación 2D y 3D del modelo de nube de puntos.

### 5.1. ADQUISICIÓN DE DATOS

Antes de comenzar la fase de adquisición de datos, hay que hacer un estudio previo del objeto o zona a levantar. Se debe prestar atención a varios aspectos:

#### 5.1.1. Número de estacionamientos y situación

Para asegurarse que la zona objeto de trabajo se escanea completamente. Se ha de estudiar la zona para elegir dónde colocar los diferentes estacionamientos. Se debe asegurar que la zona se digitaliza completamente con tantos estacionamientos del equipo láser escáner como hagan falta para minimizar el número de huecos o zonas en sombra. En el caso en el que sea necesario realizar más de un estacionamiento se ha de tener en cuenta si el láser escáner utilizado es panorámico o de cámara y qué ventana de captura utiliza.

También hay que presentar mucha atención tanto a la planta como al alzado del objeto a escanear. De hecho, los entrantes y salientes del mismo suelen condicionar en gran medida el número de estacionamientos. En superficies continuas el recubrimiento puede reducirse considerablemente.

### **5.1.2. Densidad de puntos**

La densidad de puntos que se puede capturar con el equipo depende de los siguientes parámetros:

- 1- Distancia al objeto.
- 2- Resolución escogida (baja, media, alta).
- 3- Precisión establecida en el proyecto.
- 4- Tiempo de captura.

### **5.1.3. Sistemas de coordenadas**

Se recogen las coordenadas de los puntos barridos en un sistema de referencia instrumental propio del equipo. Este sistema de coordenadas es distinto en cada estacionamiento, por lo que se debe referir cada captura de datos a un sistema de referencia local o global único para el conjunto de datos barridos. Para ello, muchas veces se necesitan señales de puntería diseñadas específicamente para enlazar o registrar distintos sistemas de coordenadas a partir de mediciones topográficas. En nuestro caso estas medidas fueron realizadas con una estación total de la marca Leica, modelo TCR 405 power. Dicha estación permite realizar mediciones sin prisma.

Algunos programas de edición de datos láser reconocen automáticamente señales reflectantes (planas) o de puntería (planas y esféricas). Si no se dispone de señales de puntería, la mayoría de programas informáticos son capaces de enlazar los distintos barridos de manera semiautomática.

En cualquier caso, facilita las labores de procesamiento y de registro de los datos la definición del eje vertical como eje Z.

Adicionalmente si se utiliza la fotogrametría y láser conjuntamente, hay que considerar la relación entre el sistema de coordenadas de la cámara y el sistema de coordenadas instrumental.

En este proyecto se utilizó un láser escáner Riegl LMS-Z420i combinado con una cámara réflex digital calibrada Canon EOS 20D. Este láser escáner tiene una precisión de 4 mm promedio a 50 m y su rango de acción es de 2 m a 250 m. Su campo visual de 80° x 360° lo hace un equipo ideal para la escala de la Puerta de la Latina.

Estos instrumentos entregan los siguientes datos:

- Posición y rotación del instrumento.
- Coordenadas espaciales: valor X, Y, Z.
- Intensidad: valor de reflectancia de los materiales.
- Color: valor RGB aquellos que incorporan cámara digital calibrada.

## 5.2. TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Una vez realizada la toma de datos, habrá que efectuar un tratamiento de la información capturada. La mayoría de los equipos láser escáner tienen asociado un programa informático de tratamiento y visualización de datos. Este programa está preparado para recibir y tratar la elevada cantidad de puntos de cada toma. Un sistema tradicional de CAD se colapsaría sin la utilización de estos programas específicos.

En general se pueden seguir los siguientes pasos:

- 1º) Preedición de cada toma. Si la toma es demasiado densa se puede proceder a un remuestreo.
- 2º) Registro de cada nube de puntos al sistema de referencia del proyecto, generalmente local o global.
- 3º) Eliminación de puntos indeseados y erróneos, mediante filtrado, de la información duplicada en áreas de solape. Por ejemplo, los obtenidos durante la toma de datos por el paso accidental de personas, vehículos, animales,...
- 4º) Segmentación en tres dimensiones de nubes de puntos.
- 5º) Extracción de geometrías.
- 6º) Modelado tridimensional de entidades.
- 7º) Relleno de zonas huecas.
- 8º) Simplificación de entidades.



La mayoría de estos procesos se realizan de forma interactiva. En la actualidad se están desarrollando algoritmos semiautomáticos o automáticos que simplifiquen y optimicen la gestión de los datos láser, sin embargo, la opacidad en los algoritmos utilizados por parte de los fabricantes y la reciente implementación de esta técnica de adquisición de datos hacen que aún sea necesario tratarlos en algunos casos de forma manual mediante otras herramientas habituales de CAD.

En esta etapa la información recogida en campo pasa una serie de procesos para filtrar y unir la información en un único modelo:

- 1- Limpieza: eliminar toda aquella información que no se desea, ya sea de forma manual o de forma automática.

De forma automática la eliminación del ruido del láser escáner se logra mediante el algoritmo que permite eliminar aquellos puntos según una distancia mínima. Este proceso automático es bastante útil para minimizar el número de puntos válido.

- 2- Registro: encontrar la posición y rotación del instrumento para cada barrido en un sistema de coordenadas específico.

Para el registro de datos capturados se utilizó el sistema de barridos generales, registrándolos a través de puntos de control con topografía tradicional utilizando el sistema desarrollado por Riegl a través de su programa RiSCAN PRO. El sistema reconoce cilindros o puntos planos de 5 cm de forma automática en cada barrido y lo registra, siempre y cuando exista un mínimo de tres puntos de control comunes entre los barridos.

- 3- Optimización del modelo: creación de un modelo homogéneo. El modelo se estructura y divide en partes para facilitar su manejo y comprensión.

Una vez se tiene toda la información en un mismo sistema de coordenadas, se procede a la unión de barridos. Es este paso donde se aplica la resolución del modelo elegido, en este caso 5 cm para el modelo general y 3 cm para las áreas que requerían mayor detalle.

### **5.3. EXPLOTACIÓN 2D Y 3D DEL MODELO DE NUBE DE PUNTOS**

Las principales ventajas de utilizar esta metodología en la creación de un modelo de nube de puntos son:

- El levantamiento no se limita al uso de un solo instrumento gracias a la incorporación, en el registro, de programas de ingeniería inversa.

- Se reduce el tiempo en campo de manera significativa gracias a la reducción en el uso de puntos de control. Por una parte no es necesario montar y desmontar las dianas y el tiempo de barrido se reduce hasta en una tercera parte.
- Se consiguen resultados válidos alternativos si se aprovecha la gran densidad de puntos que generan los equipos láser escáner y evita el complejo proceso de triangulación de la nube de puntos.

La eficiencia de los equipos láser escáner en la captura de información 3D en poco tiempo y un post proceso continuo, plantean nuevas formas de documentar el Patrimonio Arquitectónico.

La visualización de los resultados puede realizarse antes que los procesos de tratamiento o procesado de los datos o una vez procesados los mismos. Lógicamente, la calidad en el resultado final variará sustancialmente en función del tratamiento desarrollado.

Las distintas animaciones que se pueden obtener tras el proceso de tratamiento son las siguientes:

- Nubes de puntos puras o con asignación de niveles de intensidad reflejada o de textura.
- Superficies malladas en base a triángulos o rectángulos.
- Vistas sombreadas.
- Modelos geométricos de imagen o entidades simples.
- Ortoimágenes, si se combinan los datos del láser escáner con las imágenes y se utilizan procedimientos fotogramétricos.

## 6. VENTAJAS E INCONVENIENTES

A continuación se citarán las ventajas e inconvenientes de la tecnología láser escáner.

### 6.1. VENTAJAS

- Toma de datos planimétricos y altimétricos integrado. Se obtienen las tres dimensiones a la vez.
- Captura de información. Los miles o millones de puntos que se obtienen son suficientes para garantizar que se tendrá la información requerida, siempre y cuando los barridos no presenten zonas calvas o muertas.

- Gran productividad y automatización en la captura de datos. Cualquier láser escáner tridimensional tiene una velocidad muy elevada en comparación con cualquier otro método clásico.
- No necesita luz para trabajar. La captura de la nube de puntos se puede realizar a oscuras.
- Sólo es imprescindible un operario.

## **6.2. INCONVENIENTES**

- Coste elevado de implantación. Un equipo láser, como los utilizados en este PFC, cuestan entre 60.000 y 300.000 euros, precio fuera del alcance de muchas empresas.
- Tiempo de modelado alto, tanto más cuanto más se exige en las etapas de postproceso, es decir, el tiempo de trabajo en gabinete puede aumentar considerablemente.
- Falta de información radiométrica o color verdadero en algunos equipos, perjudicando las tareas de identificación de puntos.
- Las esquinas y líneas de ruptura tienen una definición deficiente al registrar los puntos con una malla predeterminada. La solución pasa por reducir el ancho de malla o, mejor, combinar la tecnología láser con otras técnicas complementarias, como de topografía clásica o técnicas fotogramétricas digitales.

# **PROCESADO DE DATOS**

## **RIEGL LMS-Z420i**

## 1. PROCESADO DE DATOS DEL EQUIPO LÁSER ESCÁNER RIEGL LMS-Z420i

RiSCAN PRO es el paquete de software que acompaña a las imágenes en 3D del sensor láser RIEGL de la LMS serie Z. Todos los datos adquiridos durante una campaña de medición se organizan y almacenan en la estructura del proyecto RiSCAN PRO. Estos datos incluyen los datos de escaneo, las coordenadas de los puntos de control y los puntos de enlace, y todas las matrices de transformación necesarias para transformar los datos de los múltiples escaneos a datos referidos a un sistema de coordenadas. Además, si el escáner está equipado con una alta opcional-HR “Resolución” de la cámara digital, las imágenes de la cámara se gestionan también con este programa.



5.1 - Logo del software RiSCAN PRO

El software está diseñado para minimizar el tiempo de adquisición de datos en el campo y proporciona las herramientas para la visualización en 3D de la integridad de los datos de cobertura del terreno. Tiene automatizadas las exploraciones de los puntos de la señal. Así, por ejemplo, permite al usuario integrar el análisis de datos predefinidos en un sistema de coordenadas de alta precisión de forma directa. Además de la adquisición de datos RiSCAN PRO permite exportar los datos de proceso. Incluye diversas funciones: generación de mallas de nubes de puntos que representan el análisis de datos, información de atributos de color para cada medición láser, generación de distorsiones, fusión de imágenes de alta resolución para la textura de la malla, eliminación de nubes de puntos, creación de objetos a partir de nubes de puntos y muchas más.



Todos los datos de un proyecto se almacenan en una única estructura de directorios que contienen todos los análisis de datos, el calibrado de las fotografías, la información de registro, los descriptores y los productores adicionales de procesamiento. La estructura del proyecto está almacenada en un archivo de proyecto que hace uso del lenguaje XML. Esto permite el acceso abierto a toda la información del proyecto de forma fácil. Dentro de RiSCAN PRO todo está organizado en una estructura de árbol para que el acceso a la información sea cómodo y sencillo.

A continuación se muestra el árbol del trabajo con sus diferentes ramas y podemos observar que nos aparecen, las diferentes calibraciones con las que ya contamos, a priori, de la cámara, el montaje y los reflectores así como las colecciones, escaneos, objetos...

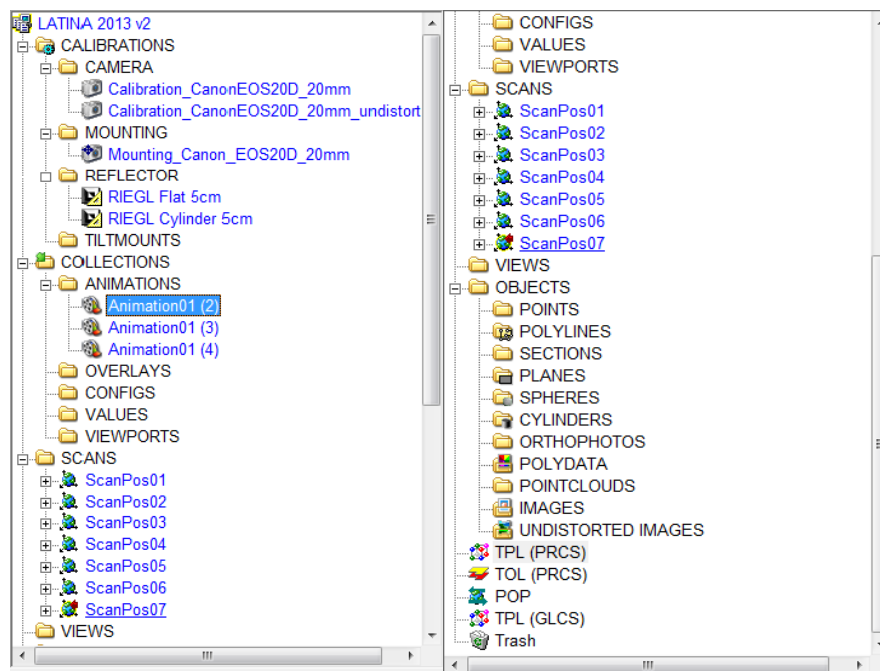


Imagen 5.2 - Estructura del proyecto RiSCAN PRO

## 1.1. CARACTERÍSTICAS DESTACABLES DE UN NUEVO PROYECTO

### 1.1.1. Configuración de los atributos del proyecto

En primer lugar hay que establecer los atributos generales del proyecto (operador, fecha, lugar,...); instrumentales (configuración de los puertos de comunicación para permitir la comunicación con el instrumento, también se puede establecer el tipo de cámara); corrección de escala (se establecen unos valores atmosféricos y una corrección geométrica, se aplica a la mediciones (ppm = partes por millón)); características de los archivos del proyecto (la ubicación y el tamaño total), etc.

### 1.1.2. Sistemas de coordenadas utilizados

Con el programa RiSCAN PRO se pueden utilizar diferentes sistemas de coordenadas, las más importantes se describen a continuación:

- Sistema de coordenadas propio del escáner (SOC): es el sistema de coordenadas en el que el escáner presenta los datos de campo.
- Sistema de coordenadas proyecto (MLRP): es un sistema de coordenadas que se define por el usuario.
- Sistema de coordenadas globales (EVA): es el sistema de coordenadas en el que se define el sistema de coordenadas proyecto.
- Sistema de coordenadas de la cámara (CMC): es el sistema de coordenadas de la cámara.

### 1.1.3. Visualización de los datos

RiSCAN PRO muestra los datos como imagen 2D o 3D. En la visualización de los datos 2D angular (polares y el azimut de exploración ángulos), se rasteriza el plano de la imagen de acuerdo a los índices dentro de un conjunto de datos.

El color del píxel puede ser determinado por el alcance, la altura, la intensidad o color verdadero. En la visualización en 3D se utiliza la información geométrica completa. Como el conjunto de datos, básicamente, representa un punto de nube, cada medición es representada como un punto en el espacio 3D.

## 2. TRATAMIENTO DE DATOS UTILIZANDO RISCAN PRO

### 2.1. LA NUBE DE PUNTOS

De todos los escaneos realizados con el equipo Riegl en el PFC se van a utilizar los escaneos 6 y 7. Los primeros escaneos fueron pruebas para poder hacer la puesta en marcha del láser escáner.

Cada escaneo tiene sus propias características. El escaneo 6 se realiza desde un primer estacionamiento, situado en una plaza del aparcamiento, y se han obtenido dos archivos: uno de la panorámica (Imagen 5.3) y otro de la propia puerta (Imagen 5.4).

El escaneo 7 se efectúa desde el segundo estacionamiento, situado en el rellano intermedio de las escaleras de entrada a la Escuela, y se han obtenido tres archivos: uno de la panorámica (Imagen 5.5), otro de la propia puerta (Imagen 5.6) y, por último, una toma más ajustada a las figuras talladas por encima del arco de la puerta (Imagen 5.7).

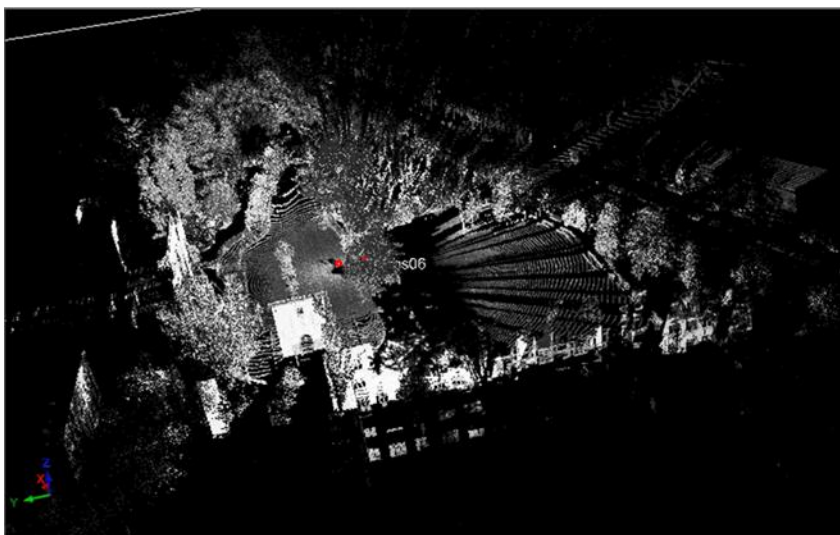


Imagen 5.3 - Escaneo panorámico desde el primer estacionamiento

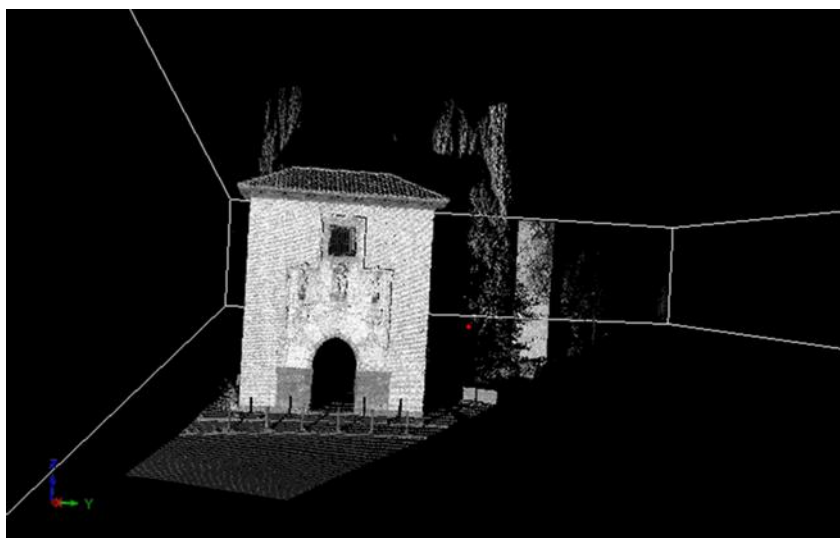
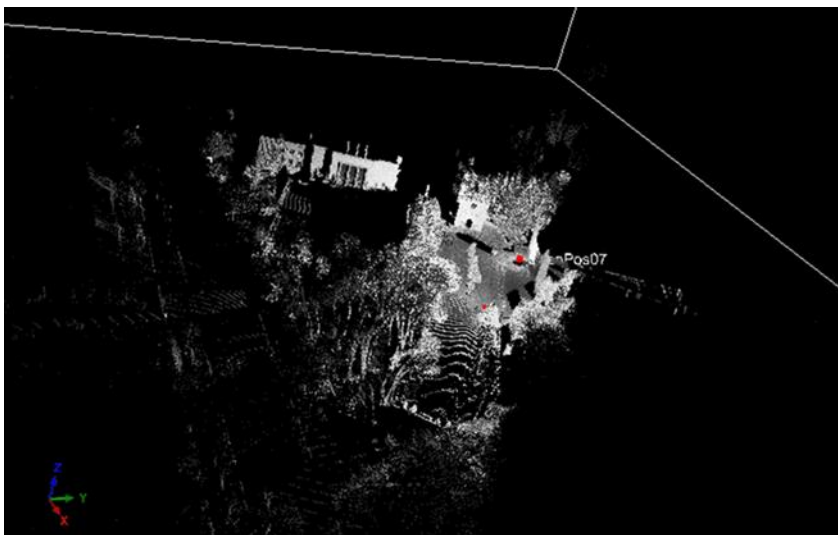
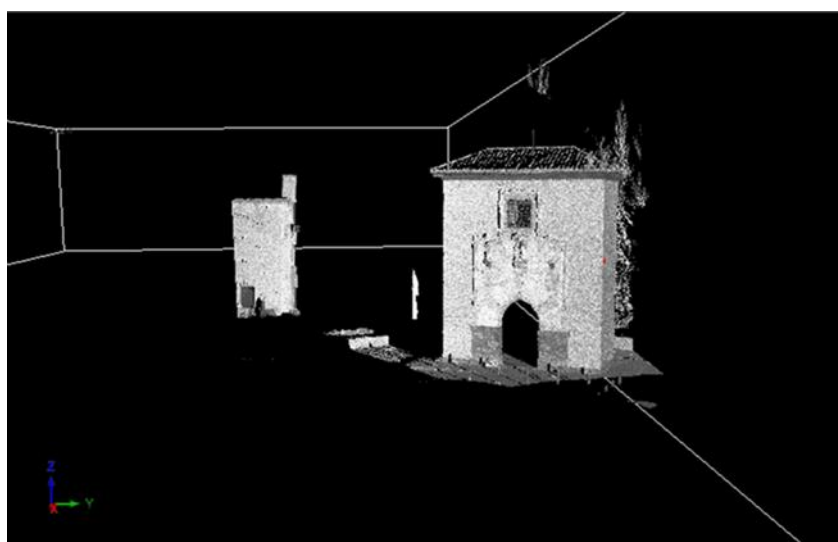


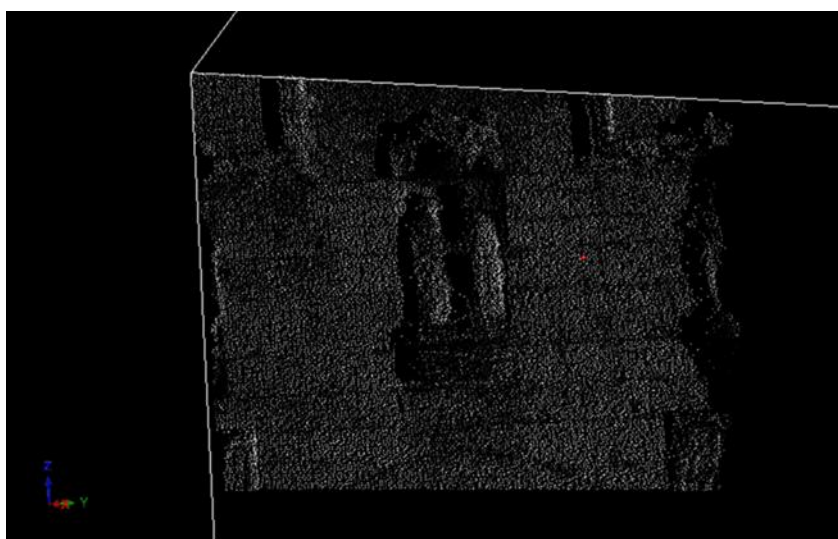
Imagen 5.4 - Escaneo de la puerta desde el primer estacionamiento



*Imagen 5.5 - Escaneo panorámico desde el segundo estacionamiento*

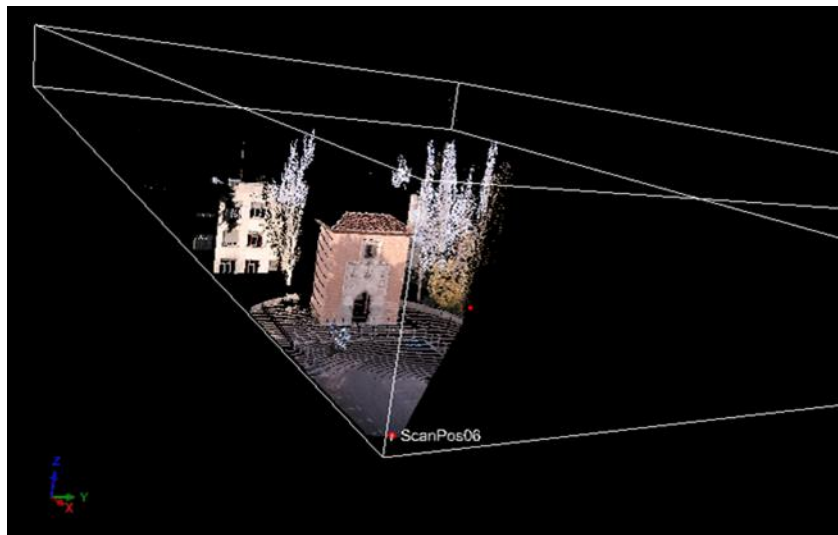


*Imagen 5.6 - Escaneo de la puerta desde el segundo estacionamiento*



*Imagen 5.7 - Escaneo de las figuras talladas por encima del arco desde el segundo estacionamiento*

Como el láser escáner iba provisto de una cámara fotográfica se obtienen también todos los escaneos a color, que se muestran a continuación.



*Imagen 5.8 – Escaneo panorámico desde el primer estacionamiento*



*Imagen 5.9 – Escaneo de la portada desde el primer estacionamiento*

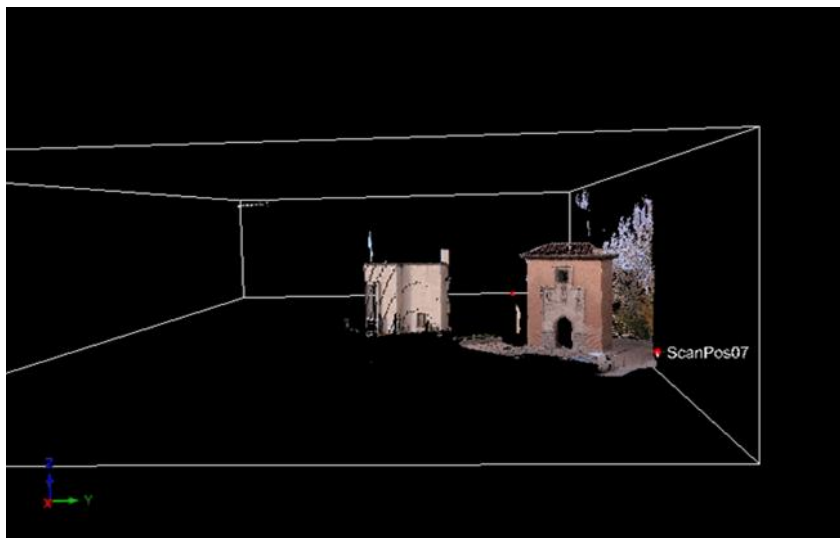


Imagen 5.10 – Escaneo panorámico desde el segundo estacionamiento

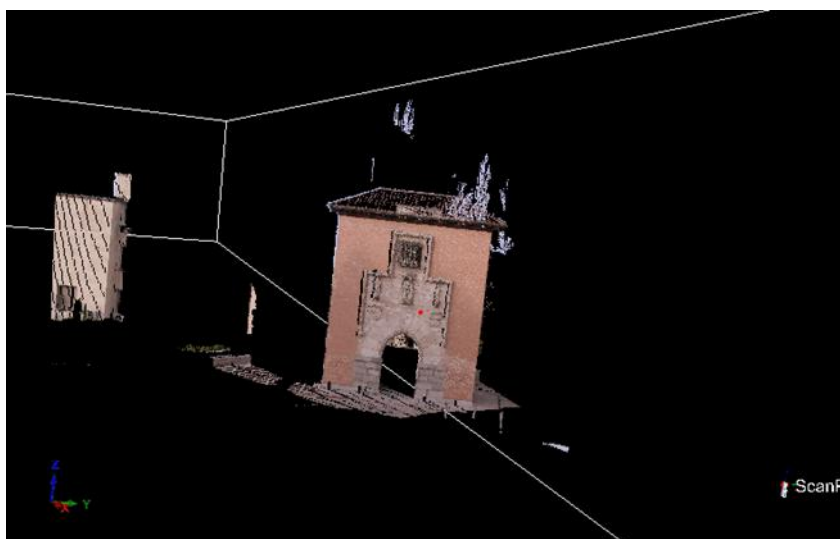


Imagen 5.11 – Escaneo de la portada desde el segundo estacionamiento

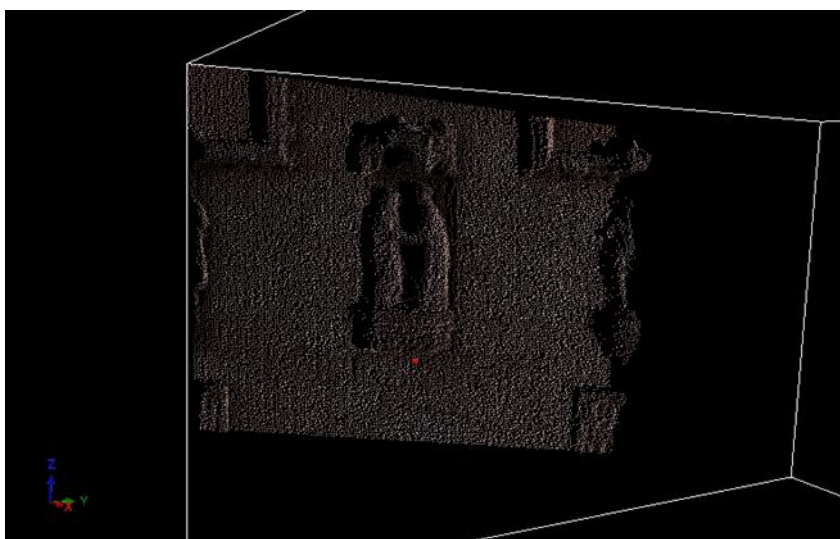


Imagen 5.12 – Escaneo de las figuras talladas desde el segundo estacionamiento



## 2.2. DEPURACIÓN DE LOS DATOS

Para llevar a cabo la depuración de los datos se debe eliminar el ruido, es decir, todo aquello que entorpezca el objeto final del estudio; como por ejemplo, personas, bancos, señales, árboles...; ya que el equipo láser escáner tridimensional, cuando hace el barrido en la toma de datos, captura todo lo que esté en su recorrido.

Para realizar esta operación se utiliza la herramienta “Delete current object”, que permite eliminar los puntos que seleccionemos; aquellos que provocan el ruido.

En esta etapa se hizo una limpieza de toda la nube de puntos, es decir, se eliminó todo el ruido, todo lo que entorpecía el objeto de estudio. Se eliminaron todos los puntos que no proporcionaron información válida.

Se hizo una primera aproximación y se eliminaron del espacio de trabajo las zonas más amplias de puntos no válidos o puntos a desechar (Imagen 5.13).



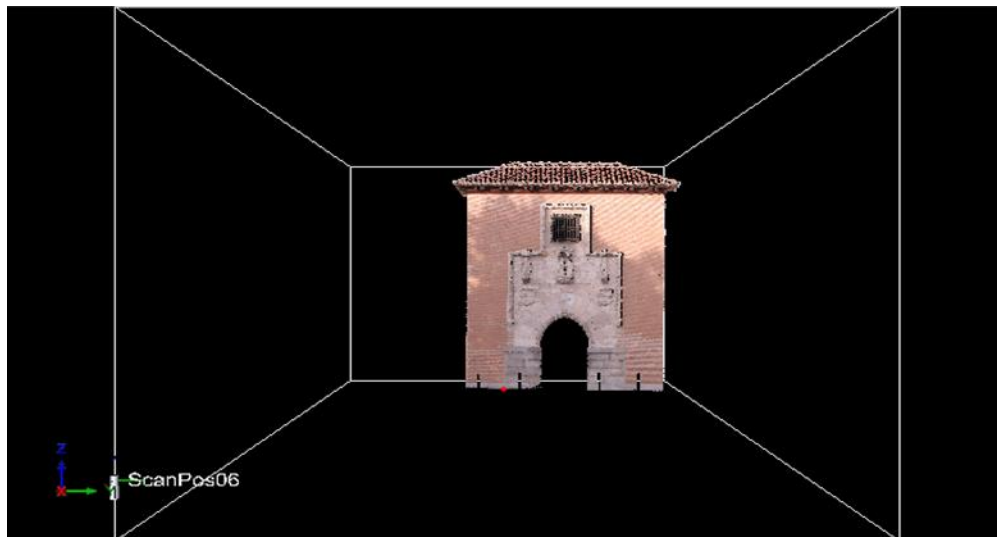
*Imagen 5.13 – Detalle de la limpieza general de puntos de zonas amplias*

En una segunda aproximación también se eliminaron los puntos que no eran útiles, pero ya de las zonas más próximas a la Puerta de la Latina; teniendo en este proceso mucha más precaución que en la fase anterior, para no eliminar puntos válidos ya que esta zona está muy próxima a los puntos propios del objeto de estudio (Imagen 5.14).



*Imagen 5.14 – Detalle de la limpieza de puntos más próximos a la portada*

De las diferentes nubes de puntos de las dos observaciones obtenidas se contaba al principio del tratamiento de los datos con un total de 1.790.987 puntos en el escaneo 6 y en el escaneo 7 comenzamos con 1.829.433 puntos. Después de la limpieza hemos acabado con 147.785 puntos y 290.608 puntos respectivamente, obteniendo así nubes de puntos finales con las que trabajar.

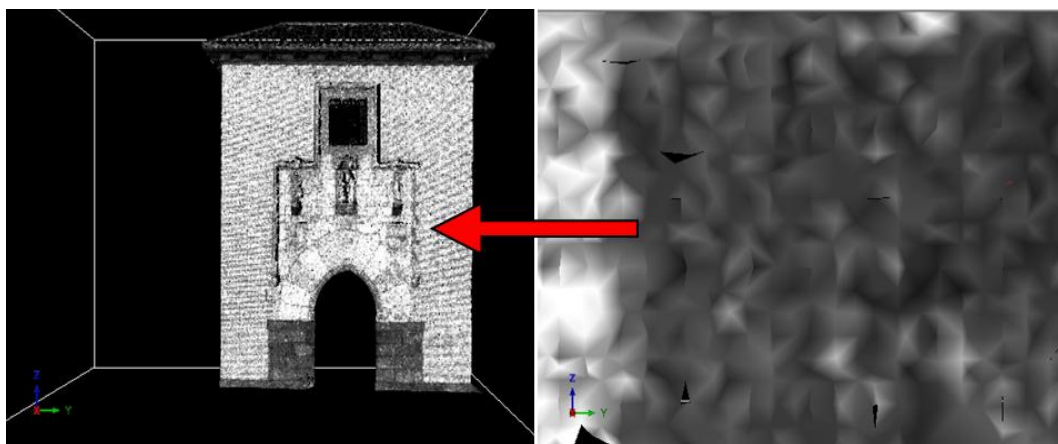


*Imagen 5.15 – Nube de puntos una vez terminada la limpieza de puntos*

### 2.3. CONSTRUCCIÓN DEL SÓLIDO

En esta fase se obtiene una malla de triángulos, con la que se define la geometría de la superficie de los objetos representados. Para este trabajo empleamos la herramienta “Triangulate”.

Una vez obtenida la malla de triángulos se tiene la opción de editarla, algunas de estas opciones son borrar vértices, triángulos y aristas; también se puede visualizar la malla de triángulos.



*Imagen 5.16 – Malla de triángulos y detalle de esta superficie*

En las zonas de mucha oblicuidad el equipo láser escáner tridimensional no registra bien todos los puntos, por lo que quedan huecos. El siguiente paso consistirá en eliminarlos.

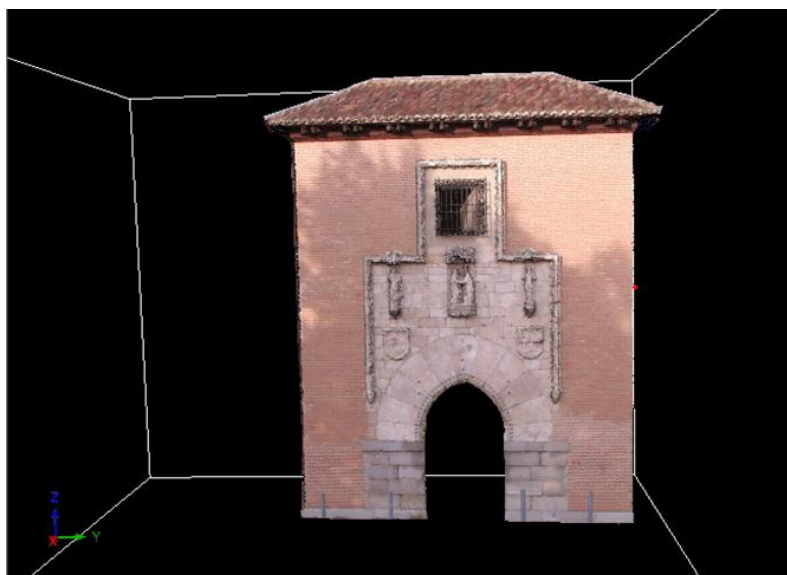


*Imagen 5.17 – Oblicuidad en el escaneo 6 debido a su posición en el estacionamiento*



*Imagen 5.18 – Oblicuidad en el escaneo 7 debido a su posición en el estacionamiento*

Para resolver el problema de la oblicuidad debemos fusionar ambas nubes de puntos. Para ello hemos utilizado el programa Realworks de Trimble.



*Imagen 5.19 – Resultado de la fusión de las dos nubes de*

## 2.4. ASIGNACIÓN DE TEXTURAS AL MODELO

Para conseguir resultados fotorrealistas es necesario aplicar sobre el modelo texturas de alta calidad generadas a partir de imágenes digitales. Las texturas en la Puerta de la Latina, se aplicaron a partir de imágenes de una cámara digital, como ya se explicó anteriormente. Se usaron una fotografía del directorio “Scanposimages” para obtener una definitiva y aplicarla en el sólido de cada uno de los estacionamientos. Las fotografías obtenidas en la fase de adquisición fueron corregidas de distorsión mediante la herramienta “Undistorsion” antes de aplicarlas en el sólido.





*Imagen 5.20 – Fotografía del primer estacionamiento corregida de distorsión*



*Imagen 5.21 – Fotografía del segundo estacionamiento corregida de distorsión*

El proceso para llevar a cabo esta fase del proyecto fue el siguiente:

- Corregimos las fotografías de distorsión.
- Seleccionamos en la carpeta “Polyddata” la malla a la que queremos asignar la textura y en el menú marcamos la opción de “Texture”, aparece un cuadro de dialogo donde se encuentran todas las imágenes corregidas de distorsión y que permite elegir las imágenes que deseemos incluir en a textura.
- En este momento se aplica la textura a la malla de triángulos obtenida con anterioridad.

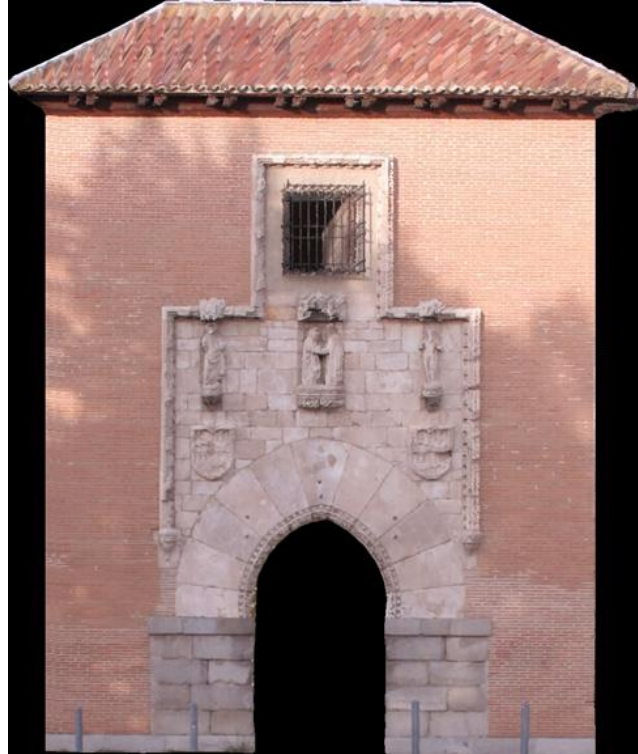
## 2.5. GENERACIÓN DE ORTOFOTOGRAFÍAS

Para generar ortofotografías nos basamos en la información geométrica que proporcionan dos tipos de fuentes diferentes. Por un lado los datos de escaneado y por otro los datos de las imágenes. Son necesarios para su creación los siguientes requisitos:

- Haber eliminado la distorsión de las imágenes, para ello utilizamos la herramienta del menú “Undistort”. Esta herramienta elimina la distorsión para una determinada cámara y calibración de montaje.
- Tener creada una malla triangular.
- Haber texturizado la malla.

Finalmente, para crear la ortofotografía seguimos los siguientes pasos:

1. Cargamos la malla con la que vamos a realizar la ortofotografía.
2. Seleccionamos el color con el que queremos que se muestren los datos.
3. Definimos el plano de proyección: su posición, tamaño y orientación (vertical, horizontal o con ejes definidos por el usuario). Para este paso utilizamos la herramienta “Define plane”.



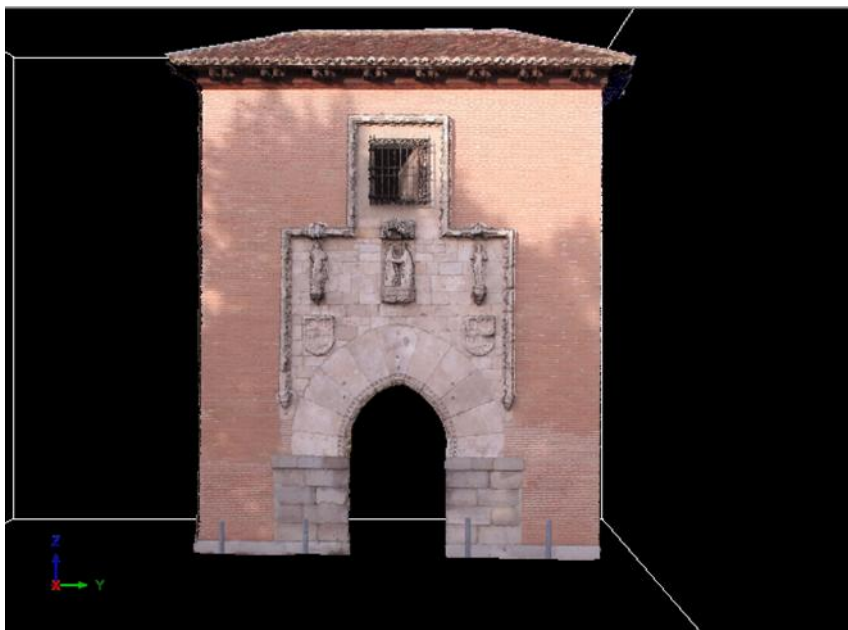
*Imagen 5.22 – Ortofotografía generada*

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS

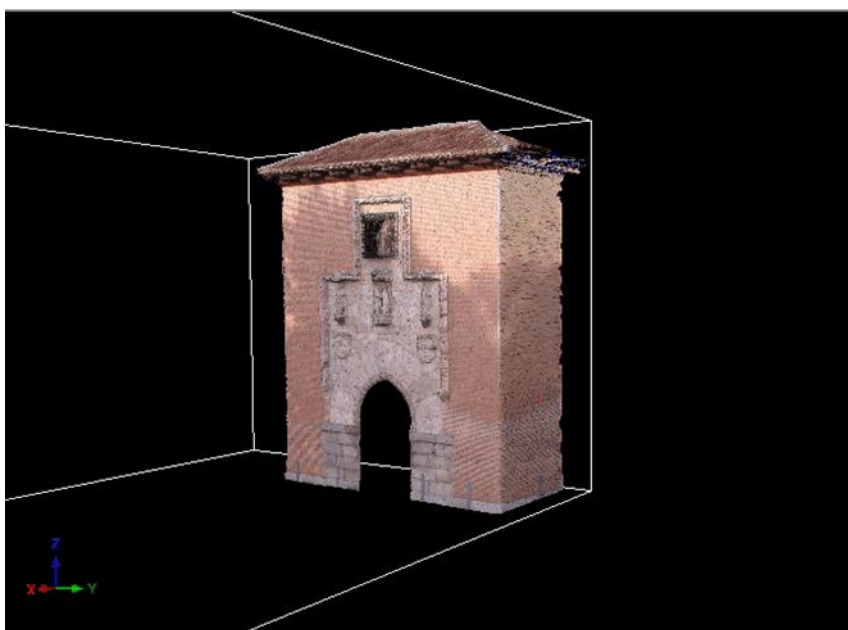
Después de realizar todos los procesos, se obtiene el resultado final, que puede ser estudiado de distintas formas: se puede trabajar con una triangulación más o menos densa, o con un modelo con textura asociada, o con puntos de un color u otro. En este apartado se muestran algunos ejemplos de las posibles opciones.



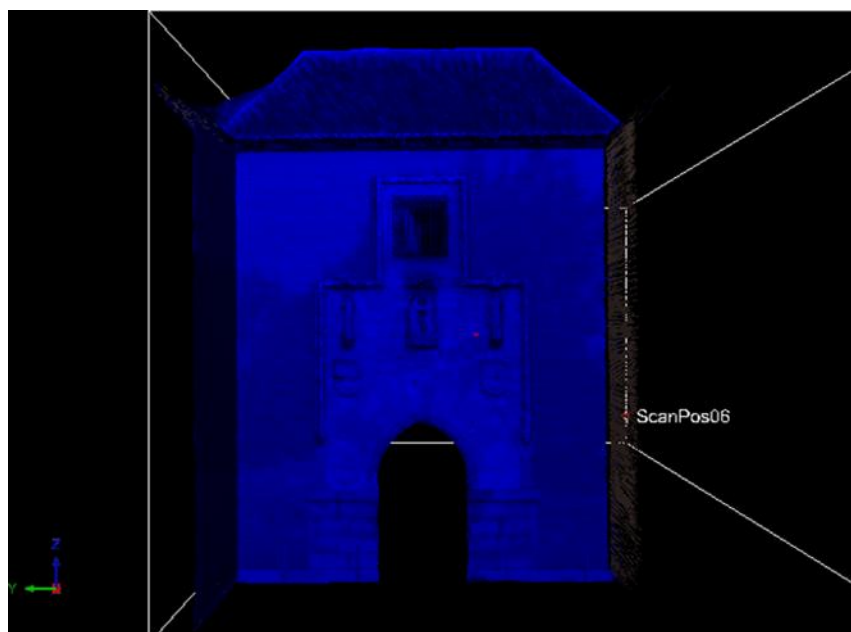
### 3.1. OPCIONES SEGÚN LA VISUALIZACIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS



*Imagen 5.23 – Vista frontal de la portada tras la fusión de las nubes de puntos*



*Imagen 5.24 – Vista lateral de la portada tras la fusión de las nubes de puntos*



*Imagen 5.25 – Vista del reverso de la portada tras la fusión de las nubes de puntos*

# **PROCESADO DE DATOS**

## **Z+F IMAGER 5010C**

## 1. INTRODUCCIÓN

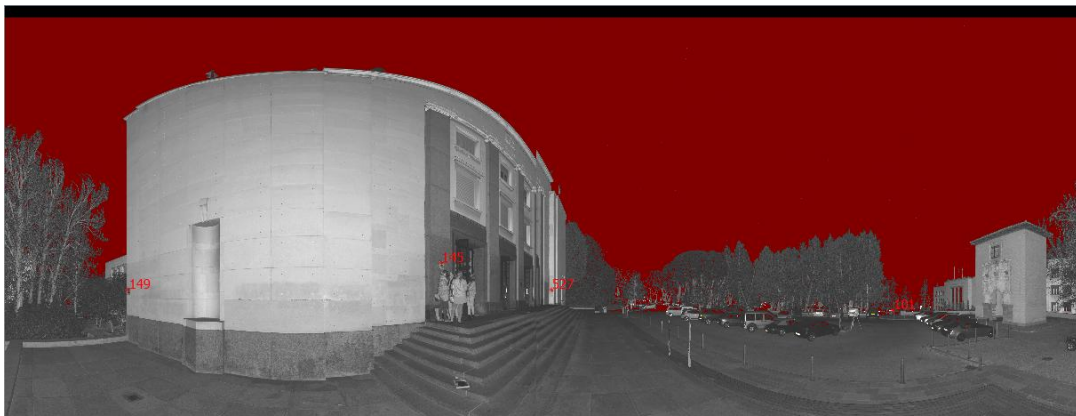
Z+F Laser Control V 8.4.5 es el software asociado al equipo Z+F Imager 5010c, para la primera etapa del tratamiento de datos. Este software está preparado para recibir y tratar la gran cantidad de puntos de cada toma; además, las nubes de puntos obtenidas tienen una extensión propia del equipo que sólo puede ser leída con este software.

Lo primero que debemos hacer es crear un proyecto para, posteriormente, ir agregando todos los escaneos.

En nuestro caso creamos un proyecto que constaba de las siguientes tomas:



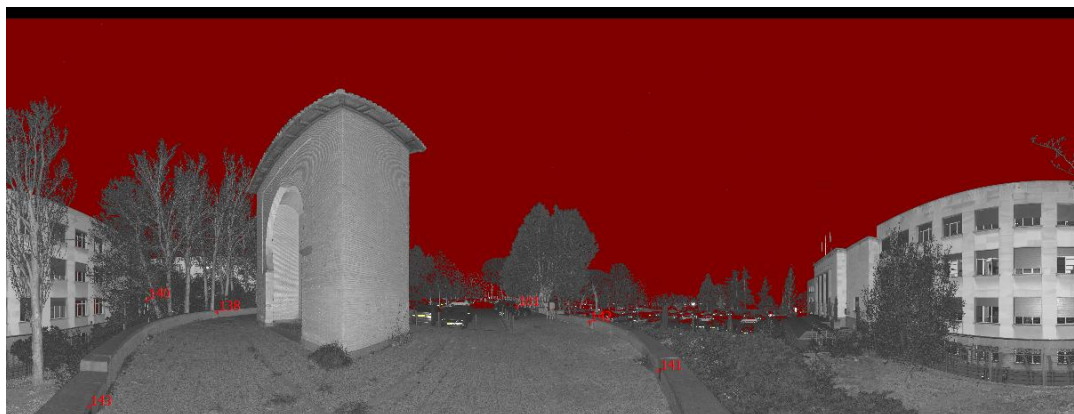
*Imagen 6.1 – Logo del software del Z+F Laser Control*



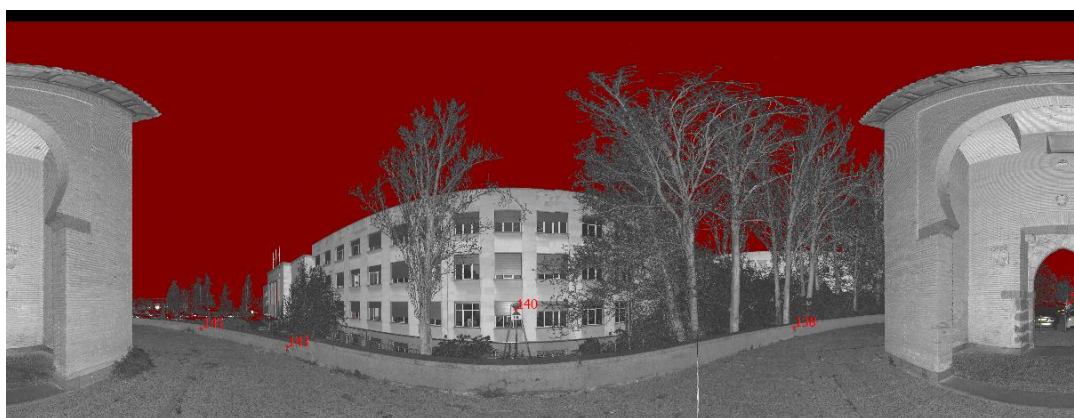
*Imagen 6.2 – Primer estacionamiento*



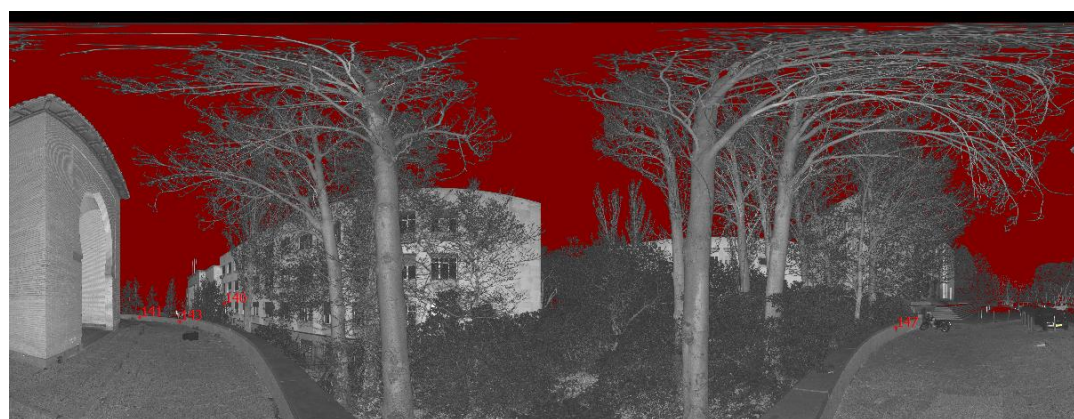
*Imagen 6.3 – Segundo estacionamiento*



*Imagen 6.4 – Tercer estacionamiento*

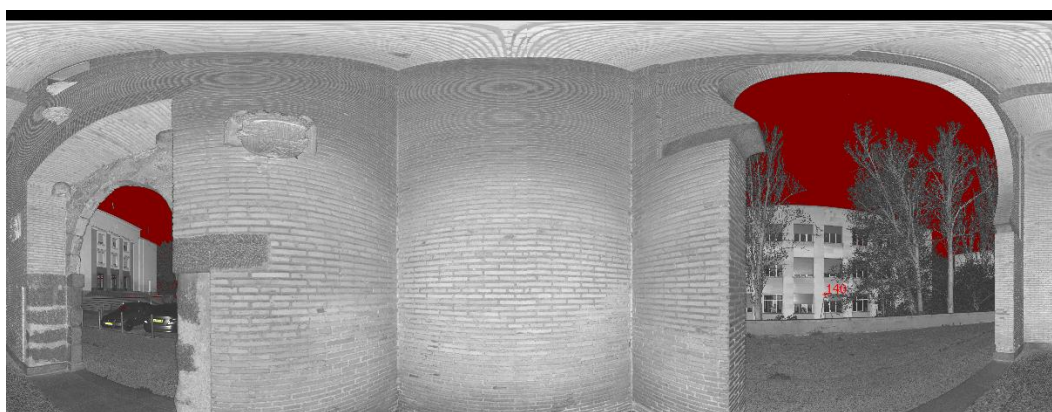


*Imagen 6.5 – Cuarto estacionamiento*



*Imagen 6.6 – Quinto estacionamiento*



*Imagen 6.7- Sexto estacionamiento**Imagen 6.8 – Séptimo estacionamiento**Imagen 6.9 – Octavo estacionamiento*

Una vez cargados todos los escaneos procedemos con el registro de las diferentes dianas que colocamos en los alrededores de la zona de escaneo y que nos ayudarán con la referenciación y orientación de las nubes de puntos. Este proceso de registro consiste en localizar e identificar en cada uno de los escaneos las dianas con sus numeraciones. Una vez identificadas todas las dianas visibles en cada uno de los escaneos procederemos con la referenciación mediante éstas.

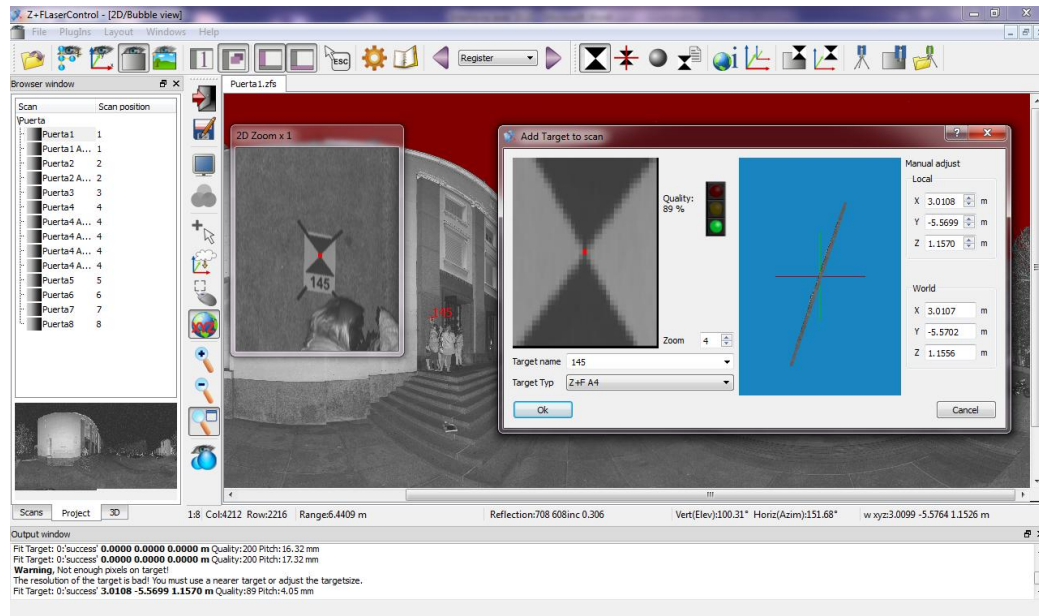


Imagen 6.10 - Registro de las dianas

Este proceso de referenciar consiste en seleccionar las dianas de cada imagen con un mínimo de tres dianas para poder tener un resultado idóneo. Una vez hecha la referenciación el software, mediante el proceso de intersección inversa, comienza a ordenar los estacionamientos del equipo láser escáner en su posición para que todos los escaneos estén orientados y todas las nubes de puntos coincidan; esto se debe a que cada nube se referencia a la posición del equipo láser escáner.

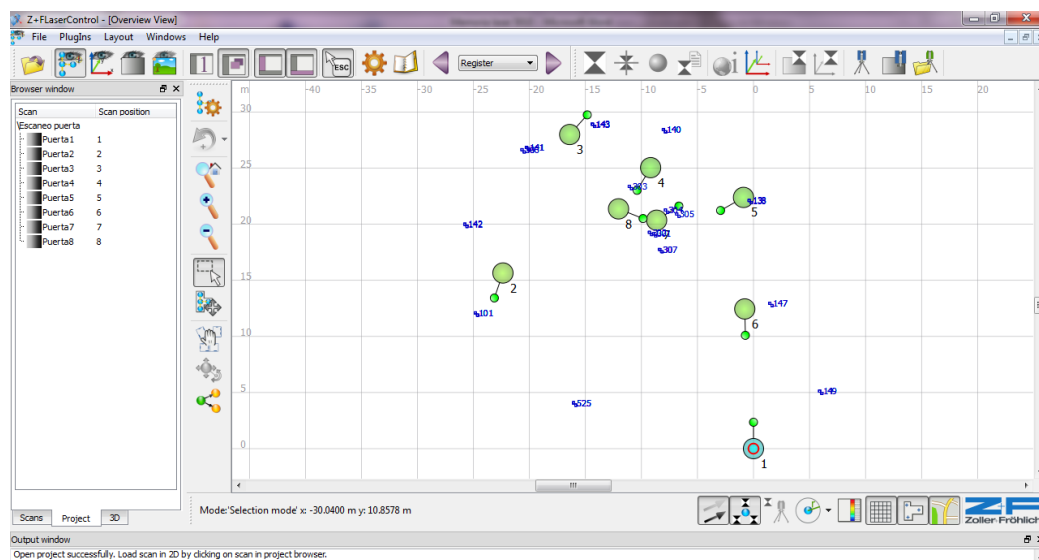


Imagen 6.11 – Referenciados los diferentes escaneos



Una vez obtenidas las diferentes nubes de puntos ya referenciadas, las exportamos a un formato universal, \*.asci, para poder trabajar con el software correspondiente de tratamiento de datos RealWorks.

## 2. TRATAMIENTO DE DATOS UTILIZANDO REALWORKS

Las operaciones generales que se deben realizar en un proyecto con el software RealWorks son las siguientes:

- Combinación de proyectos
  - Orientación relativa: Fusión de nube de puntos
  - Orientación absoluta:
- Georreferenciación
- Edición de las nubes de puntos
  - Creación de mallas
  - Edición de mallas
  - Eliminación de huecos
  - Asignación de textura

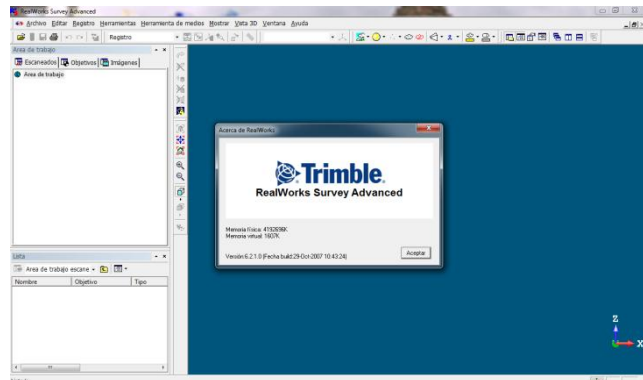


Imagen 6.12 – Máscara del software de tratamiento de datos

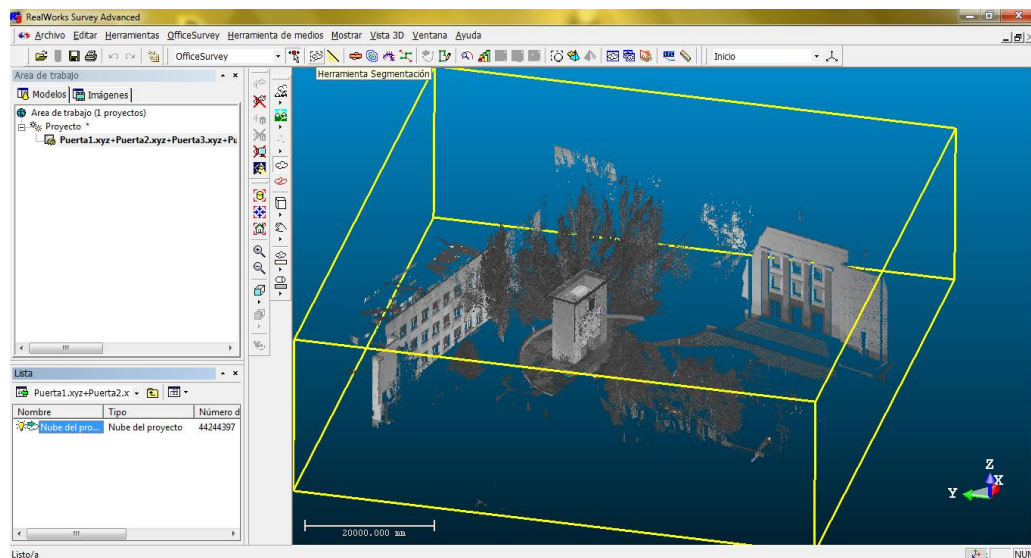


Imagen 6.13 – La unión e todas las nubes referenciadas

## 2.1. GEORREFERENCIACIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS

Este proceso de orientación absoluta nos permitirá referenciar los datos del escaneo a un sistema de coordenadas fijo.

Trabajaremos desde el espacio de trabajo de RealWorks en modo *Registro*. La georreferenciación se puede realizar de forma directa, asignando coordenadas medidas con GPS a varios puntos de la Puerta, o de forma indirecta, por dos caminos posibles; el primero de ellos es a través de las dianas que empleamos en la orientación relativa de las diferentes nubes de puntos, y el segundo (nuestro caso) mediante radiación con estación total.

Esta operación consiste en seleccionar un mínimo de tres puntos a los que asignaremos las coordenadas calculadas de la radiación. Así pues, los puntos utilizados para georreferenciar la nube de puntos serán los observados el segundo día de toma de datos, con la estación total. En este nuestro caso empleamos seis puntos de los 41 radiados.

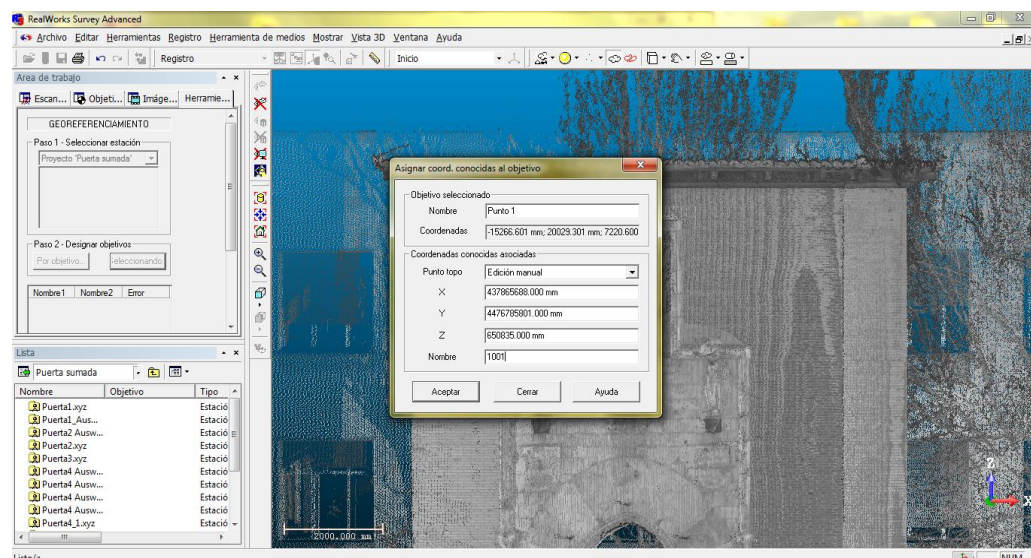


Imagen 6.14 – Georreferenciación de la nube de puntos

## 2.2. DEPURACIÓN DE LOS DATOS

Una vez georreferenciada la nube de puntos comenzamos la siguiente fase, para ello trabajaremos desde el espacio de trabajo de RealWorks en modo *OfficeSurvey*. Esta etapa consistirá en la depuración de los datos eliminando el ruido, es decir, eliminamos todos aquellos elementos que entorpecían el objeto final de estudio (árboles, personas, señales,...) ya que el equipo láser escáner al realizar el barrido con el haz de luz mide todo lo que encuentra en su recorrido.

Para la eliminación de entidades indeseadas, ruido, procedemos con la herramienta “Herramienta segmentación”, que permite seleccionar y eliminar los elementos deseados.

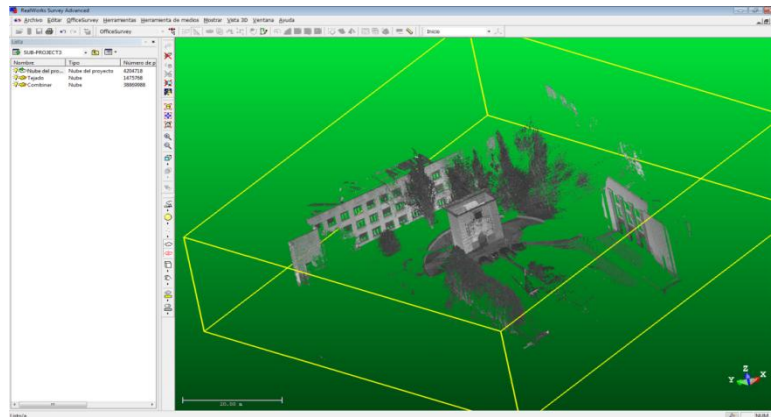


Imagen 6.15 – Nube de puntos sin depurar

Tras una primera aproximación, en la que se eliminan zonas amplias de los alrededores del objeto de estudio, obtenemos la siguiente nube de puntos:

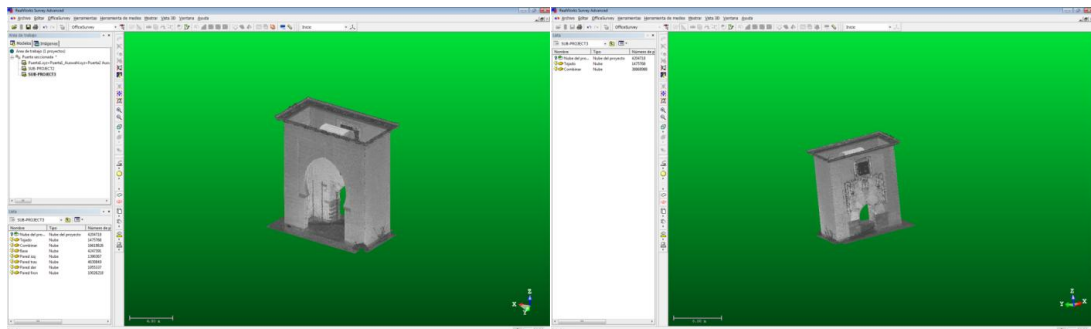


Imagen 6.16 – Resultado de la nube tras un primer limpiado

Una vez realizada esta primera depuración de ruido se realiza una segunda limpieza con el fin de eliminar el ruido más próximo al objeto de estudio. Esta segunda fase requiere mayor precaución que en la operación anterior, ya que al trabajar en zonas próximas al objeto se podrían eliminar elementos que nos interesen, este proceso se lleva a cabo con la herramienta de “muestreo por intensidad”

Para trabajar mejor durante esta etapa operamos sobre la nube de puntos por partes, es decir, fraccionamos el objeto a medida que requiéramos para poder hacer una mejor limpieza. De esta forma, además, el manejo de los datos con el programa es más fluido.

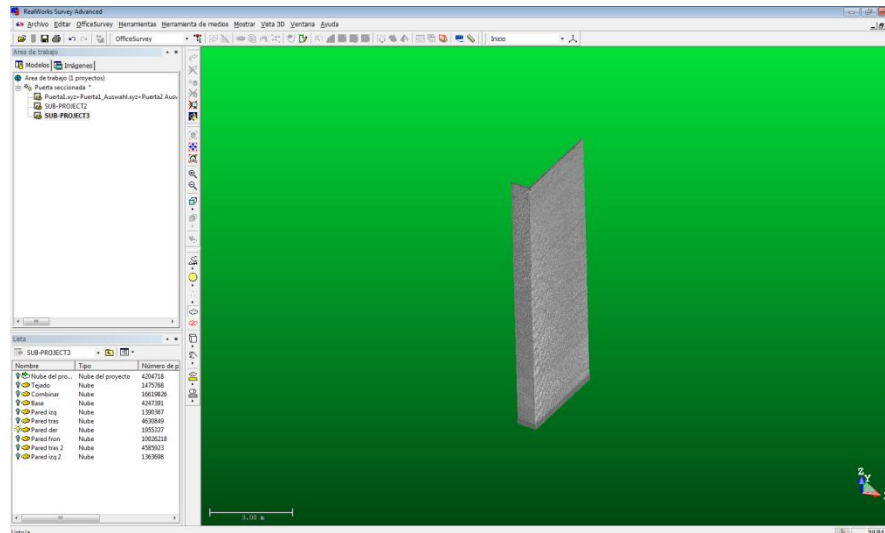


Imagen 6.17 – Primera sección de la puerta

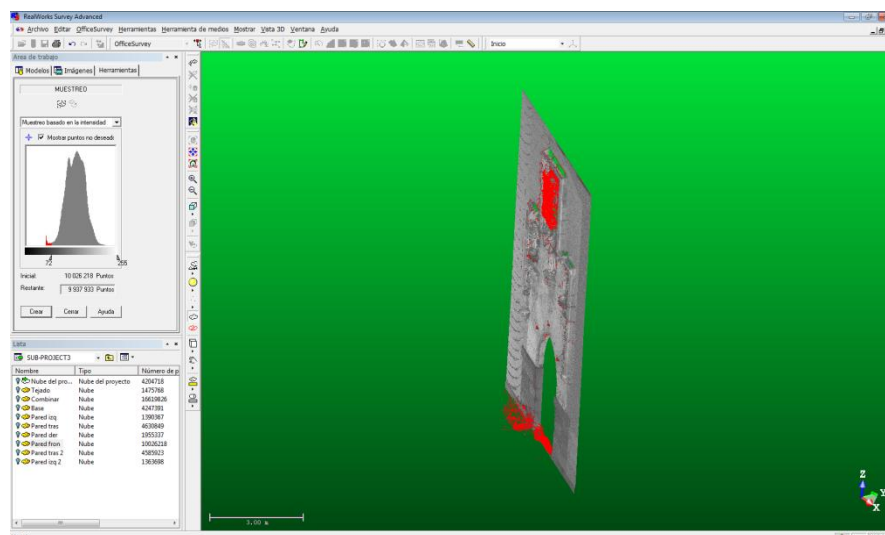


Imagen 6. 18 – Segunda sección de la puerta

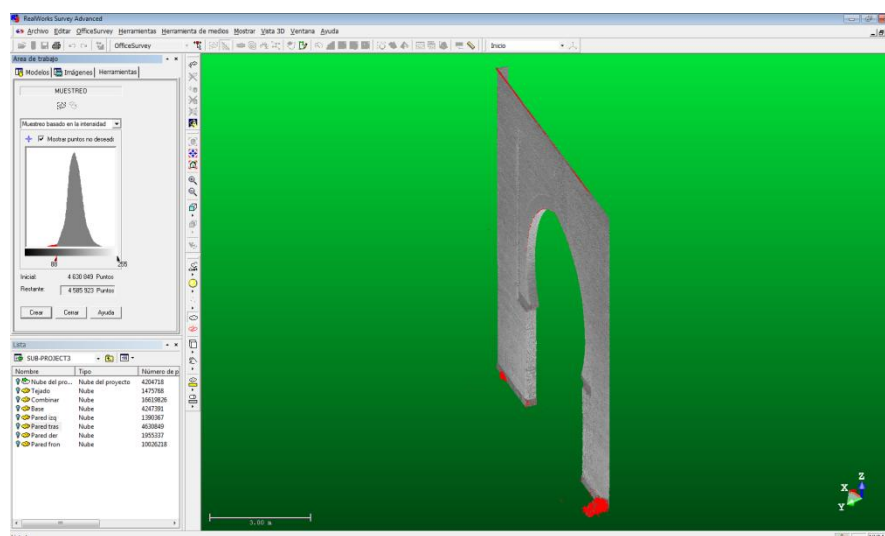


Imagen 6.19 – Tercera sección de la puerta

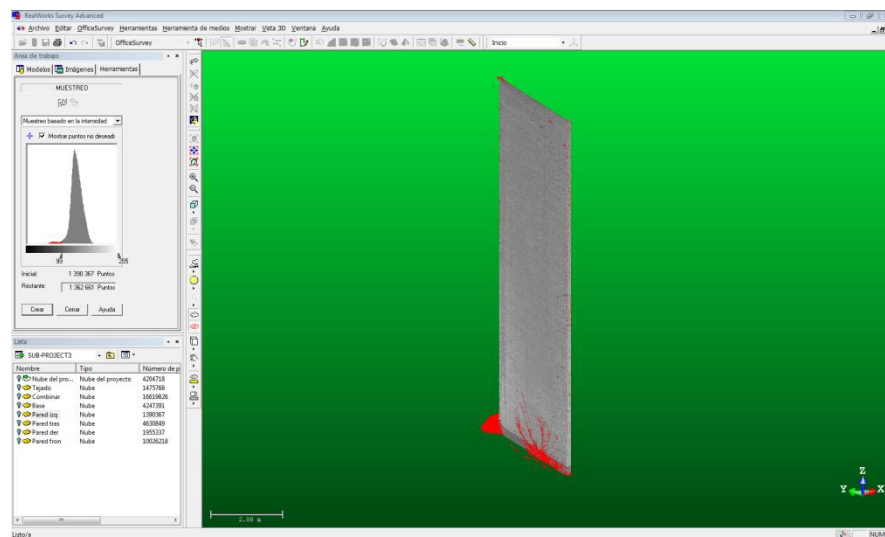


Imagen 6.20 – Cuarta sección de la puerta

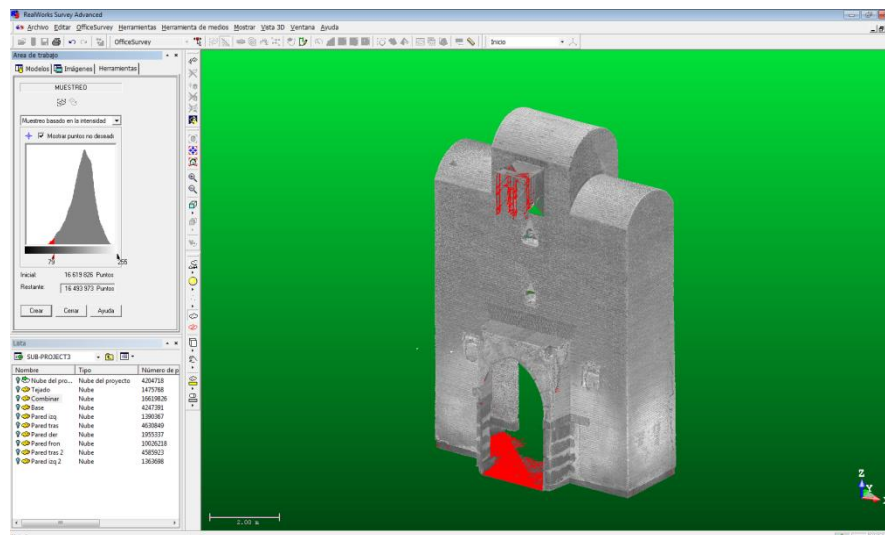


Imagen 6.21 – Quinta sección de la puerta

Tras finalizar este segundo proceso de limpieza de ruido realizamos un muestreo espacial, con ello obtendremos una nube con puntos distribuidos de forma regular. Esta operación permite reducir la densidad de puntos configurando una nube en la cual los puntos se encuentran separados una distancia deseada por el operario.

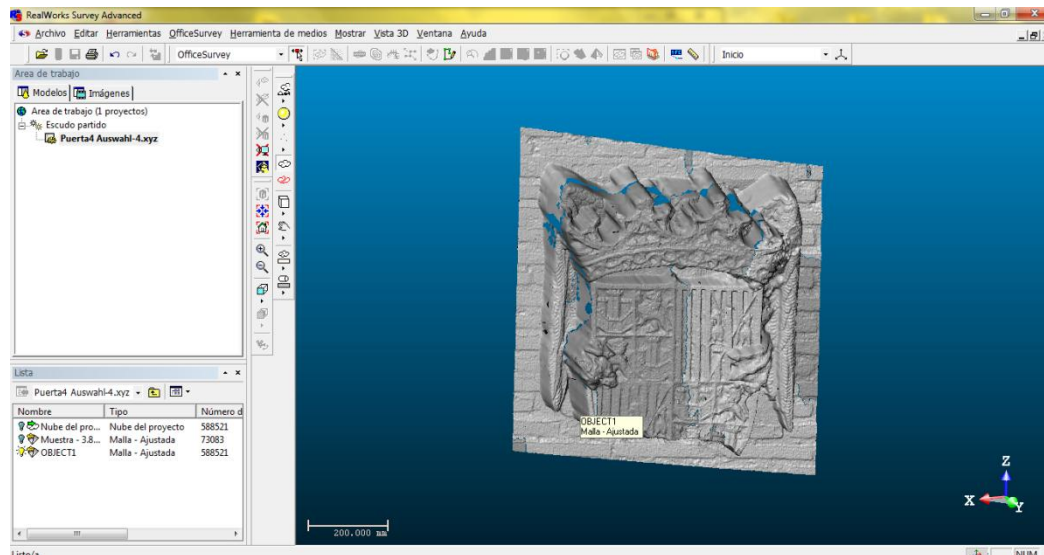
En este caso, tras varias pruebas, decidimos realizar un muestreo espacial con un radio de 5 milímetros; es decir, en la nube resultante del muestreo los puntos están separados a una distancia mínima de 5 milímetros.



## 2.3. CONSTRUCCIÓN DEL SÓLIDO

Con la nube de puntos, obtenida del muestreo espacial, se realiza una malla de triángulos que dará lugar a nuestro resultado deseado, el sólido en tres dimensiones.

Para este proceso se operó de manera similar a la segunda etapa de limpieza; se seccionó la nube de puntos a medida que trabajábamos con ella en diferentes partes:

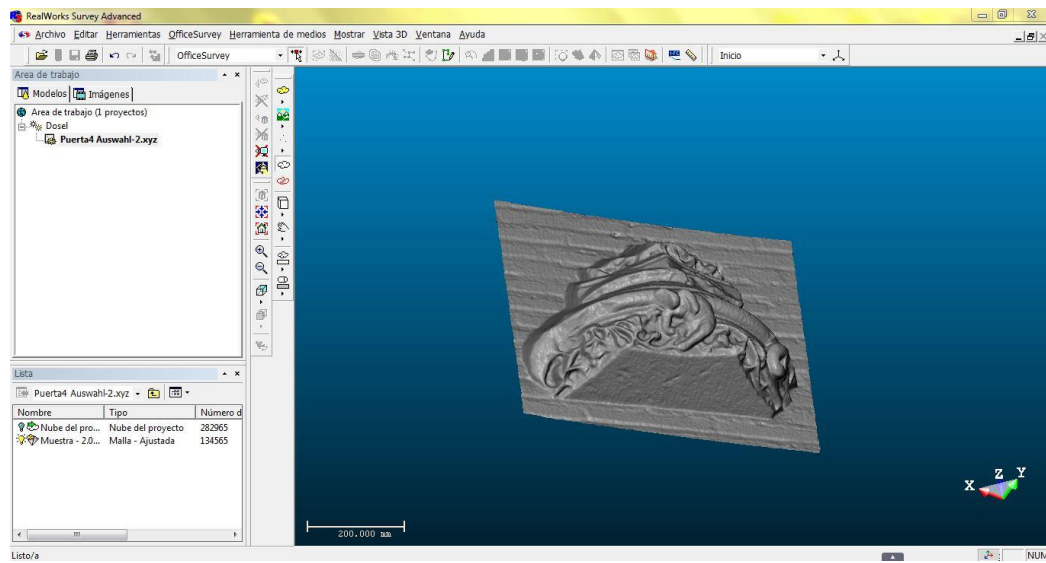
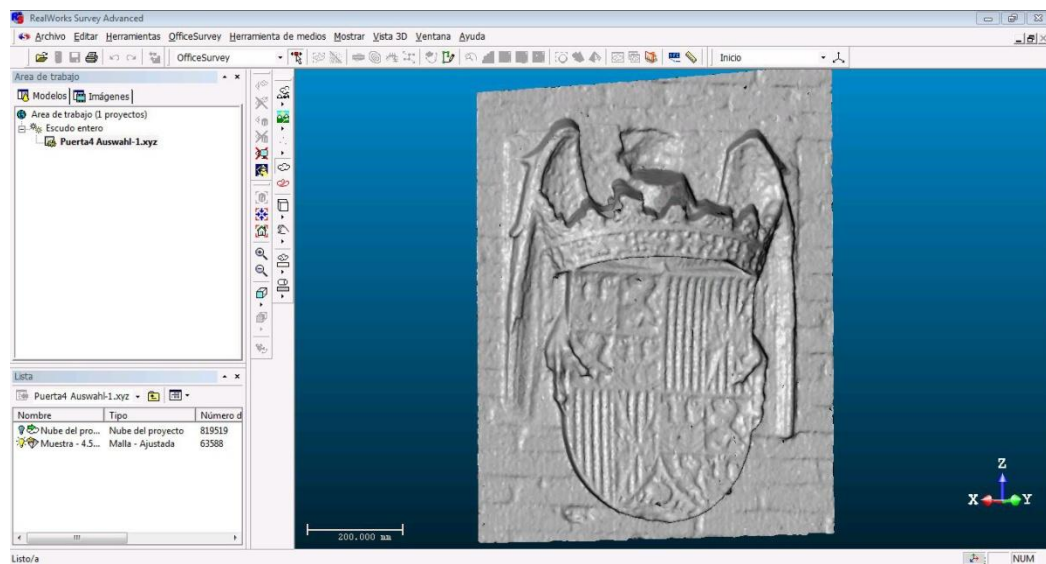


6.22. Imagen – Problemas con la inversión de las normales de los triángulos

Por último, para refinar el resultado obtenido se emplean las herramientas de edición de mallas:

- Suavizar
- Quitar crestas
- Inversión de normales de triángulos
- Refinar
- Invertir bordes

Para realizar las distintas operaciones en la malla podemos operar directamente sobre los triángulos, los bordes de éstos o sus vértices.

*Imagen 6.23 – Dosel después de la edición de mallas**Imagen 6.24 – Escudo resultado de la edición de mallas*



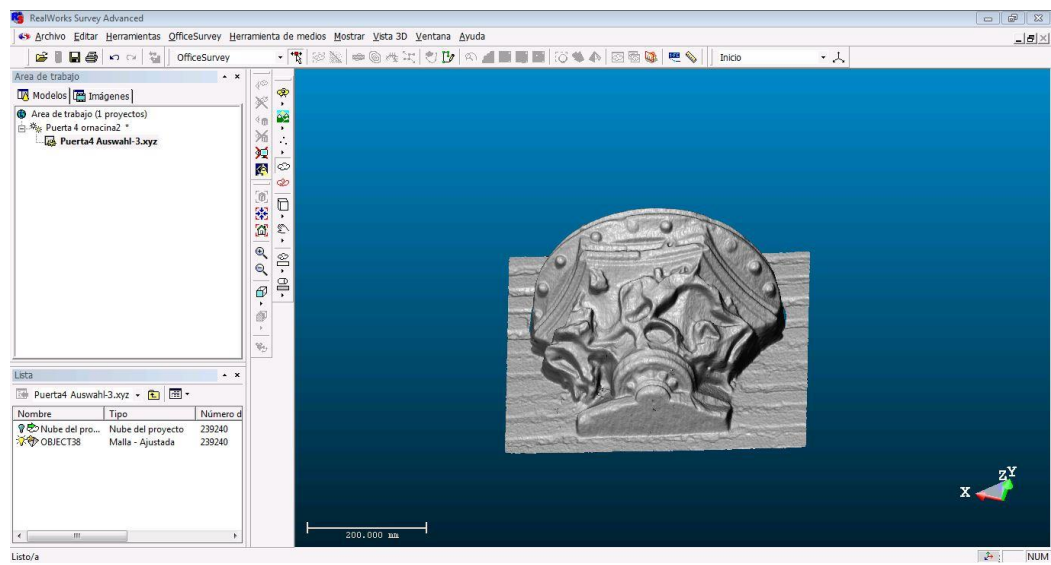


Imagen 6.25 – Malla de la ornacina

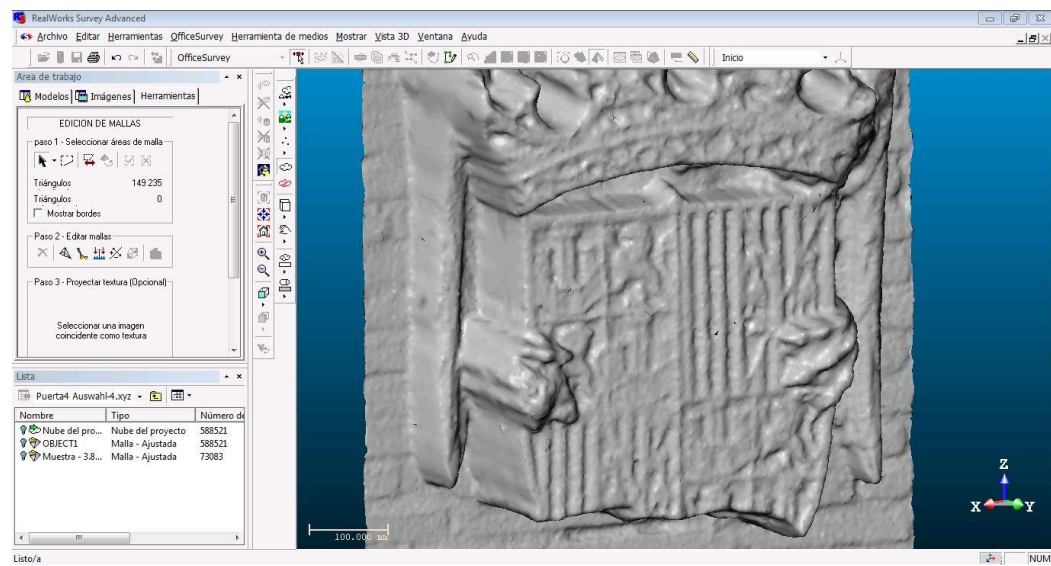


Imagen 6.26 – Escudo después de haber editado su malla

## 2.4. ASIGNACIÓN DE TEXTURA AL MODELO

Para terminar el trabajo procedemos a aplicar la textura sobre el sólido obtenido de forma que el resultado sea fotorrealista.

Lo primero es importar a RealWorks imágenes en formato digital, ya que la resolución de una imagen 2D a color que genera un láser escáner no garantiza la creación de una textura óptima.

Una vez realizado el proceso de carga de las imágenes tendremos que georreferenciarlas, para lo cual empleamos la “*Herramienta coincidencia de imágenes*”. En este momento realizaremos la coincidencia de la imagen con la malla mediante una sucesión de puntos homólogos. Bastará con pulsar dichos puntos sobre las imágenes y sobre la malla; el programa exige dar un mínimo de cuatro puntos, pero si queremos mayor precisión en el resultado de la textura debemos usar más puntos.

En esta operación se debe tener cuidado ya que la herramienta acopla una imagen 2D a un cuerpo geométrico 3D, lo que conlleva inevitables deformaciones geométricas de la imagen. Para minimizar estas deformaciones debemos identificar puntos en la imagen y el modelo de tal forma que se cumplan ciertas constricciones geométricas; como por ejemplo, que estén contenidos en una línea, así como ciertas condiciones de contorno. Los puntos se deben asignar de forma homogénea por todo el área de coincidencia entre modelo e imagen para que las distorsiones se distribuyan homogéneamente.

Por último, debemos volver a editar la malla para poder asignar la textura deseada. Será en este proceso en el cual obtendremos nuestro modelo tridimensional totalmente generado y editado.

# **PRESUPUESTO**

Esta parte del proyecto contiene el cálculo del coste total, presupuesto, que supondría la realización del modelo tridimensional de la Puerta de La Latina.

Para el cálculo total del presupuesto se elaboran fichas de costes independientes para cada actividad realizada. En cada una de las fichas de costes se recogen los costes directos, básicos y generales, y los costes indirectos.

## FORMACIÓN DEL PRESUPUESTO

### ● Costes directos básicos

#### MANO DE OBRA:

- Ingeniero técnico en topografía (campo) → 160,00 €/día
- Ingeniero técnico en topografía (gabinete) → 120,00 €/día

#### MATERIAL:

- De oficina:
  - Tinta → 30,00 €/día
  - Papel A4 (500 folios) → 4,50 €/unidad
- De campo:
  - Estrella de hierro
- Encuadernación → 30,00 €/unidad

### ● Costes directos generales

#### INSTRUMENTAL:

- Alquiler de equipo láser escáner Riegl LMS-Z420i (láser escáner, baterías, trípode, ordenador portátil con el software RiSCAN PRO) → 1.500,00 €/día
- Alquiler de licencia para utilización del software RiSCAN PRO → 30,00 €/día
- Alquiler de estación total Leica TCR 405 power → 70,00 €/día

#### DESPLAZAMIENTOS Y DIETAS:

- Desplazamiento en vehículo → 0,50 €/Km
- Dietas → 30,00 €/persona y día

» Cálculo de la amortización de CPU, pantalla, teclado, ratón e impresora:

$$CA = [(PT/TA) + 0.1 * (PT/TA)] * 0.8$$

PT → Precio total del producto, en este caso 1400,00 €.

TA → Tiempo de amortización, en este caso

CA → Coste de amortización, en este caso 12,00 €.

### ● Costes indirectos

Se toman como costes indirectos 20 €/persona/día.

## Fichas de costes por actividad

Proyecto: <b>Obtención del modelo tridimensional de la Puerta de La Latina</b>				
Actividad: <b>Gestiones</b>				
Días de trabajo efectivo		2		
Coste básico				
Mano de obra	Operario		Coste unidad	Coste total
1	I. T. Topógrafo		160,00 €/día	320,00
Materiales				
		Total coste básico		320,00
Coste general de producción				
Instrumental			Coste unidad	Coste total
Transporte	Km/Viaje	Total Km		
3 (viajes)	80	240	0,50 €/km	120,00
Dietas				
1			30,00 €/día	60,00
		Total coste producción		180,00
Costes indirectos				
Personas	Días		Coste unidad	Coste total
1	2		20,00 €/día	40,00
		Total costes indirectos		40,00
Coste total de Gestión				540,00

Proyecto: <b>Obtención del modelo tridimensional de la Puerta de La Latina</b>				
Actividad: <b>Reconocimiento del terreno</b>				
Días de trabajo efectivo		1		
Coste básico				
Mano de obra	Operario		Coste unidad	Coste total
1	I. T. Topógrafo		160,00 €/día	160,00
Materiales				
		Total coste básico		160,00
Coste general de producción				
Instrumental			Coste unidad	Coste total
Transporte	Km/Viaje	Total Km		
3	80	240	0,50 €/km	120,00
Dietas				
1			30,00 €/día	30,00
			Total coste producción	
			150,00	
Costes indirectos				
Personas	Días		Coste unidad	Coste total
1	1		20,00 €/día	20,00
			Total costes indirectos	
			20,00	
Coste total de Reconocimiento del terreno				330,00



Proyecto: <b>Obtención del modelo tridimensional de la Puerta de La Latina</b>				
Actividad: <b>Escaneos con <i>Riegl LMS-Z420i</i></b>				
Días de trabajo efectivo			1	
Coste básico				
Mano de obra	Operario		Coste unidad	Coste total
1	I. T. Topógrafo		160,00 €/día	160,00
Materiales				
			Total coste básico	160,00
Coste general de producción				
Instrumental			Coste unidad	Coste total
1	Equipo láser escáner		1.500,00€/día	1.500,00
Transporte	Km/viaje	Total Km		
2	80	160	0,50 €/km	80
Dietas				
Otros costes				
		Total coste de producción		1.580,00
Costes indirectos				
Personas	Días		Coste unidad	Coste total
1	1		20,00 €/día	20,00
		Total costes indirectos		20,00
Coste total de escaneado con <i>Riegl LMS-Z420i</i>				1.760,00

Proyecto: <b>Obtención del modelo tridimensional de la Puerta de La Latina</b>				
Actividad: <b>Obtención del modelo tridimensional</b>				
Días de trabajo efectivo			5	
Coste básico				
Mano de obra		Operario	Coste unidad	Coste total
1		I. T. Topógrafo	120,00 €/día	600,00
Materiales				
			Total coste básico	600,00
Coste general de producción				
Instrumental			Coste unidad	Coste total
1		Coste de amortización	12,00 €/día	60,00
1		Software RiSCAN PRO	30,00 €/día	150,00
Transporte				
Dietas				
Otros costes				
			Total coste de producción	210,00
Costes indirectos				
Personas		Días	Coste unidad	Coste total
1		5	20,00 €/día	100,00
			Total costes indirectos	100,00
Coste total de obtención del modelo tridimensional				910,00

Proyecto: <b>Obtención del modelo tridimensional de la Puerta de La Latina</b>				
Actividad: <b>Radiación</b>				
Días de trabajo efectivo			1	
Coste básico				
Mano de obra		Operario	Coste unidad	Coste total
1		I. T. Topógrafo	160,00 €/día	160,00
Materiales				
			Total coste básico	160,00
Coste general de producción				
Instrumental			Coste unidad	Coste total
1		Estación total	70,00 €/día	70,00
Transporte		Km/viaje	Total Km	
2		80	160	0,50 €/km
Dietas				
Otros costes				
			Total coste de producción	150,00
Costes indirectos				
Personas		Días	Coste unidad	Coste total
1		1	20,00 €/día	20,00
			Total costes indirectos	20,00
Coste total de obtención del modelo tridimensional				330,00

Proyecto: <b>Obtención del modelo tridimensional de la Puerta de La Latina</b>				
Actividad: <b>Cálculo de la radiación</b>				
Días de trabajo efectivo			1	
Coste básico				
Mano de obra		Operario	Coste unidad	Coste total
1		I. T. Topógrafo	120,00 €/día	120,00
Materiales				
			Total coste básico	120,00
Coste general de producción				
Instrumental			Coste unidad	Coste total
1		Coste de amortización	12,00 €/día	12,00
Transporte		Km/viaje	Total Km	
Dietas				
Otros costes				
			Total coste de producción	12,00
Costes indirectos				
Personas		Días	Coste unidad	Coste total
1		1	20,00 €/día	20,00
			Total costes indirectos	20,00
Coste total de cálculo de la radiación				152,00

Proyecto: <b>Obtención del modelo tridimensional de la Puerta de La Latina</b>				
Actividad: <b>Redacción de la memoria</b>				
Días de trabajo efectivo			5	
Coste básico				
Mano de obra		Operario	Coste unidad	Coste total
1		I. T. Topógrafo	120,00 €/día	600,00
Materiales				
3		Papel A4 (500 folios)	4,50 €/und.	13,50
2		Cartucho de tinta	30,00 €/und.	60,00
			Total coste básico	673,50
Coste general de producción				
Instrumental			Coste unidad	Coste total
1		Coste de amortización	12,00 €/día	60,00
Transporte				
Dietas				
Otros costes				
			Total coste de producción	60,00
Costes indirectos				
Personas		Días	Coste unidad	Coste total
1		5	20,00 €/día	100,00
			Total costes indirectos	100,00
Coste total de redacción de la memoria				833,50

Tabla resumen del presupuesto por actividades:

Resumen Presupuesto	
Actividad	Coste de actividad
Gestiones	540,00
Reconocimiento del terreno	330,00
Escaneos con <i>Riegl LMS-Z420i</i>	1.760,00
Obtención del modelo tridimensional	910,00
Radiación	330,00
Cálculo de radiación	152,00
Redacción de la memoria	833,50
<b>TOTAL</b>	<b>4.855,50</b>
GG (13% TOTAL)	631,22
BI (6% TOTAL)	291,33
SUMA	5.778,05
IVA (21% SUMA)	1.213,39
<b>PRESUPUESTO TOTAL PROYECTO</b>	<b>6.991,44</b>

En el cálculo del coste final se incluye el 13% de gastos generales (GG), el 6% de beneficio industrial (BI) y el 21% de IVA.



# **CONCLUSIONES**

## CONCLUIONES

Para comenzar, decir que durante la realización de este trabajo hemos adquirido gran conocimiento a cerca de los equipos láser escáner. Hemos podido aprender el funcionamiento de dos equipos distintos y manejar sus datos correspondientes. Gracias a la oportunidad de poder utilizar el segundo equipo láser escáner, más moderno que el primero, pudios comprobar que el método de trabajo era más sencillo; el equipo completo para realizar observaciones es más reducido y más fácil de utilizar, además de las características mejoradas de los resultados obtenidos con uno y otro.

Para terminar, a la vista de los resultados obtenidos, debemos indicar que el equipo láser escáner de fase obtiene una mayor resolución del objeto observado; por contra, la distancia máxima de alcance es de 187 metros, mientras que el equipo láser escáner de vuelo puede llegar a una distancia máxima de 1000 metros.

**ANEXOS**